Niveau(x) d'enseignement: 4 Numéro EDUQ : 6570785
Centre d'intérêt: 074

Concepts scientifiques de base en soudage / par Paul-Aimé Simard, Jean-Marie Cliche, Hélène Hensler et Richard Parent ; [pour l']Univesité de Sherbrooke, Faculté d'éducation, [Plan de perfectionnement des maîtres en enseignement professionnel]. -- Sherbrooke : La Faculté, 1985.
vi, 165 f.

Bibliogr.: f. 77-80, 164-165. Filmographie: f. 82-85.

Descripteur(s): *Techniques physiques *Matériel didactique *Concept *Elaboration de guides pédagogiques *Evaluation du matériel *Secondaire (Niveau)

Identificateur(s) de sujet: *Soudage *Module d'enseignement

Les techniques du soudage évoluent à un rythme accéléré. Comment dans ces conditions assurer un apprentissage approprié aux jeunes? Est-ce que le milieu scolaire actuel est équipé pour réaliser cet apprentissage? Existe-t-il un matériel didactique approprié? La clientèle étudiante est-elle apte à comprendre des notions abstraites? Peut-elle dépasser le simple apprentissage du savoir-faire? La réponse à ces questions ne peut que résulter d'un effort de recherche auprès du milieu en vue d'évaluer correctement et de découvrir comment améliorer la situation. Le rapport expose les résultats d'un projet de recherche en sciences de base pour les techniques du soudage.

Après un court exposé du projet, les auteurs abordent la question de l'importance des concepts scientifiques de base dans les programmes de formation et dans le matériel didactique. Ils effectuent un inventaire et une évaluation de ce matériel afin d'en mesurer l'utilité pour l'apprentissage des concepts de base. Suit un compte rendu de l'observation des élèves de deux classes du professionnel long. Les implications qu'on peut dégager de cette observation pour la conception de matériel didactique sont discutées. Dans la partie suivante, les auteurs présentent trois modules destinés à l'apprentissage des concepts de base. Ils abordent finalement le problème de la validation de ce matériel didactique.

L'objectif central du projet était la conception et la mise au point de matériel didactique s'adressant aux élèves en soudage. Il s'agissait d'assurer l'apprentissage de concepts fondamentaux à des élèves n'ayant aucun prérequis dans ce domaine. Trois modules accompagnés de guides pédagogiques ont été complétés et sont présentés dans leur première version. Ces modules ont été construits de façon à assurer un auto-apprentissage de la part de l'élève. La validation de ce matériel, qui n'a été que sommaire, devra être reprise d'une façon plus élaborée et à plus grande échelle.

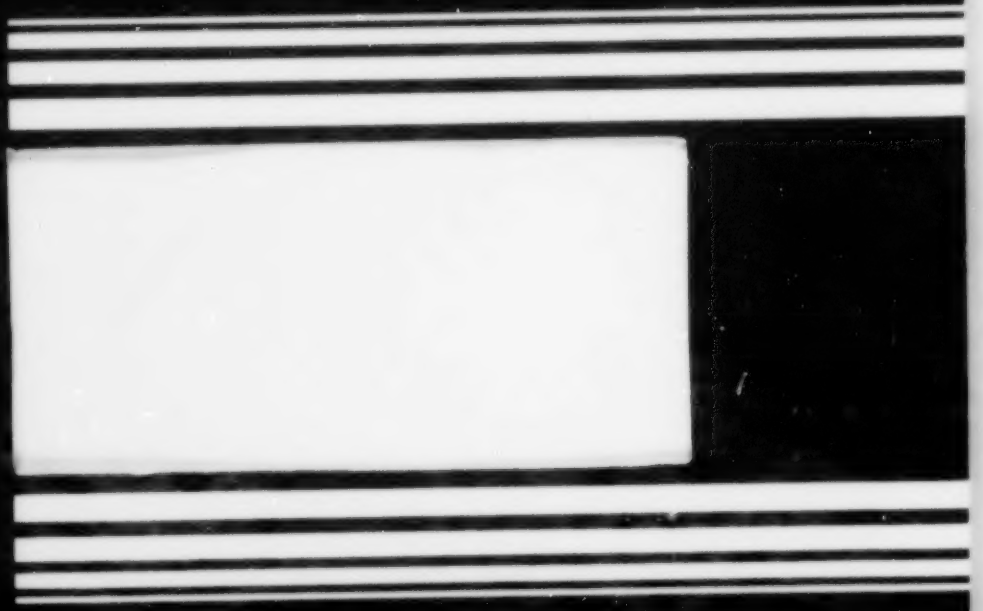
Type de document: r
Région(s) administrative(s): 05
Financement: Bénéficiaire - Université de Sherbrooke

Organisme(s) source(s) - MEQ-DGERU
Programme(s) de subvention - PPMEP

EDUQ 8570785

P.P.M.E.P.

Plan de perfectionnement des maîtres en enseignement professionnel



Faculté d'éducation
UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE

EDUQ 8570785

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE
FACULTÉ D'ÉDUCATION

Concepts scientifiques de base en soudage

par
Paul-Aimé Simard, Jean-Marie Cliche
Hélène Hensler et Richard Parent

MAI 1985

Cette recherche a été réalisée grâce à une subvention octroyée par le Ministère de l'Éducation du Québec au Programme de Perfectionnement des Maîtres en Enseignement Professionnel (PPMEP) de l'Université de Sherbrooke.

No du projet: 84-5PS-01

© Publication du PPMEP de Sherbrooke

Tous droits réservés

Université de Sherbrooke
Faculté d'éducation
Département de pédagogie
Programme de Perfectionnement des Maîtres
en Enseignement Professionnel

2e trimestre 1985.

Participants à la recherche

BOLDUC, Jean-Paul	Professeur de soudage Polyvalente Le Triolet, Sherbrooke
CLICHE, Jean-Marie	Chercheur principal Professeur au département de chimie Faculté des sciences, Université de Sherbrooke
HENSLER, Hélène	Chercheur Professeur au département de pédagogie Faculté d'éducation, Université de Sherbrooke
LAPOINTE, Roger	Professeur de soudage Polyvalente de Neufchatel, Québec
LASNIER, Roger	Professeur de soudage Polyvalente Le Triolet, Sherbrooke
NADEAU, Jean-Guy	Professeur de soudage Polyvalente Le Triolet, Sherbrooke
PARENT, Richard	Assistant de recherche Faculté d'éducation, Université de Sherbrooke
PHANEUF, Michel	Professeur de soudage Polyvalente Le Triolet, Sherbrooke
POTHIER, René	Professeur de soudage Polyvalente Le Triolet, Sherbrooke
ROY, Yvon	Professeur de soudage Polyvalente Le Triolet, Sherbrooke
SIMARD, Paul-Aimé	Chercheur principal Professeur au département de physique Faculté des sciences, Université de Sherbrooke
VALLÉE, Réjean	Professeur de soudage Polyvalente de Neufchatel, Québec

Document réalisé sur traitement de textes par
Gisèle Poirier, Gisèle Lessard et Francine Mongeau.

Table des matières

Page

Introduction 1

Chapitre 1 - Présentation du projet de recherche..... 4

Chapitre 2 - L'importance des concepts scientifiques de base en soudage dans les programmes de formation et le matériel didactique..... 8

2.1 Formation scientifique des élèves 8
2.2 Formation professionnelle 10
2.2.1 Régime pédagogique actuel 11
2.2.2 Régime pédagogique éventuel 12
2.3 Le matériel didactique fourni aux enseignants 14
2.3.1 Manuels 14
2.3.2 Matériel audiovisuel 16
2.3.3 Notes de cours (éducation des adultes) 17
2.4 Manuels scolaires utilisés 18
2.4.1 Changement de phase de la matière dont principalement la fusion 21
2.4.2 Phénomènes de dilatation thermique et de contraction .. 22
2.4.3 Courant électrique 24
2.4.4 Conductivité thermique et électrique 25
2.4.5 Propriétés des métaux 25
2.5 Conclusion 27

Chapitre 3 - L'observation des élèves..... 29

3.1 Élaboration du guide d'observation 29
3.2 Méthodologie et conditions d'observation 33

Page

3.3 Présentation des résultats 34
3.3.1 Observations des élèves dans les cours théoriques 34
3.3.2 Observations des élèves lors du travail en atelier..... 35
3.3.3 Perceptions des enseignants 37
3.3.4 Évaluation préalable des élèves 40
3.4 Résumé et implications pratiques des résultats 42

Chapitre 4 - Présentation du matériel didactique pour l'apprentissage de concepts scientifiques de base en soudage... 45

4.1 La problématique de la construction d'un module 45
4.2 Présentation de quelques modules 49
4.2.1 Module "Le courant électrique" 49
4.2.2 Module "L'arc électrique" 52
4.2.3 Module "La conductivité thermique" 54
4.3 Liste des modules à construire 55
4.3.1 Modules pour le secondaire quatre 56
4.3.2 Autres modules 62
a) Le secondaire cinq 62
b) Techniques avancées 63

Chapitre 5 - Validation préliminaire du matériel didactique..... 65

5.1 Modalités de validation 65
5.2 Observations recueillies 66
5.3 Présentation des résultats..... 67
5.3.1 Test de compréhension 67
5.3.2 Sondage d'appréciation 68
5.4 Analyse des résultats 69
5.4.1 Selon le contenu 70
5.4.2 Selon la présentation 70
5.5 Conclusion 71

Page

Conclusion..... 72

Annexes..... 75

Annexe 1 - Matériel didactique 75
Annexe 2 - Test de connaissances de base en soudage 87
Annexe 3 - Modules d'apprentissage 91
3-A Module "Le courant électrique" 92
3-B Module "L'arc électrique"..... 117
3-C Module "La conductivité thermique" 145

Références..... 164

Introduction

Depuis la découverte des métaux, l'être humain s'est attaqué au problème de l'assemblage de pièces métalliques dans le but de fabriquer divers objets d'utilisation courante. Très tôt, on a découvert des techniques qui consistent à coller deux pièces à l'aide d'un alliage fondu. Suite au phénomène de mouillage des pièces par l'alliage liquide, un lien très fort se produit lors du refroidissement et assure l'assemblage permanent des pièces. C'est la brasure, technique habituellement connue sous le nom de "soudage à l'étain". Bien que cette technique présente beaucoup d'intérêt, on a, durant le dernier siècle, cherché d'autres méthodes d'assemblage. Ce qu'on appelle aujourd'hui "techniques de soudage" englobe une grande diversité de procédés très complexes qui prennent leur source dans les sciences physiques fondamentales et qui se développent encore maintenant à un rythme accéléré.

Ce développement se produit selon deux axes principaux. Le premier résulte de la recherche de nouvelles méthodes de chauffage. Sans vouloir énumérer toutes ces méthodes, il arrive habituellement que la découverte d'un nouveau phénomène physique et la mise au point de techniques permettant le contrôle de ce phénomène donnent lieu à une nouvelle méthode de soudage. Un exemple récent bien connu tire son origine de la découverte du laser, une technique appelée à jouer un rôle important dans les industries de haute technologie. Le deuxième axe découle de la découverte de nouveaux matériaux. La recherche de ces matériaux est stimulée par les exigences très fortes que l'on impose de plus en plus aujourd'hui dans le développement des technologies modernes. On demande des matériaux qui résistent à la chaleur, à l'usure, à la corrosion; des matériaux légers, élastiques, flexibles. La limite en ce domaine n'est pas connue et l'avenir immédiat nous réserve certainement de nombreux développements pour la fabrication d'objets, inconnus encore aujourd'hui.

Il résulte de tous ces développements que les techniques d'assemblage des divers matériaux connaissent une évolution accélérée. Comme le soudage fait partie de ces techniques, on ne peut vraiment pas imaginer que la formation professionnelle dispensée à un jeune aujourd'hui dans les écoles sera suffisante pour toute sa carrière car le soudeur devra faire face à de nouvelles technologies et devra apprendre à les maîtriser. Il doit donc recevoir une formation qui le rende apte à évoluer et capable d'exercer des choix face à la multiplicité des techniques disponibles. Sa formation doit s'appuyer sur une base de connaissance élargie. Ces connaissances doivent dépasser le "savoir-faire". L'apprenti-soudeur doit mieux comprendre ce qui se passe lorsqu'il effectue une soudure. Il doit s'habituer à imaginer des phénomènes abstraits durant son apprentissage scolaire et devenir capable d'aborder lui-même de nouvelles situations.

Devant cette évolution récente et future, comment peut-on assurer un apprentissage approprié aux jeunes? Est-ce que le milieu scolaire actuel est équipé pour réaliser cet apprentissage? Existe-t-il un matériel didactique adapté? La clientèle étudiante est-elle apte à comprendre des notions abstraites? Peut-elle dépasser le simple apprentissage du "savoir-faire"? La réponse à ces questions n'est pas facile à donner. Elle ne peut que résulter d'un effort de recherche auprès du milieu en vue d'évaluer correctement tous ces points et découvrir comment contribuer à améliorer la situation.

Le rapport que nous présentons ici veut exposer quelques conclusions et réalisations issues de notre projet de recherche en sciences de base pour les techniques du soudage. Après un court exposé du projet, nous abordons la question de l'importance des concepts scientifiques de base dans les programmes de formation et dans le matériel didactique disponible actuellement. Nous tentons de faire un inventaire de ce dernier ainsi qu'une évaluation afin d'en mesurer l'utilité pour l'apprentissage des concepts de base.

Vient ensuite un compte-rendu de nos observations des élèves de deux classes du professionnel long. Ces observations ont été réalisées dans le contexte des cours théoriques et du travail en atelier. Suite à la présentation des résultats, les implications qu'on peut en dégager pour la conception de matériel didactique sont discutées. Dans la partie suivante, on présente quelques modules destinés à l'apprentissage de concepts de base. Nous verrons qu'ils sont construits de telle manière que l'étudiant puisse comprendre l'essentiel de ces concepts sans prérequis scientifiques. Enfin, on aborde le problème de la validation de ce matériel didactique. Il s'agit d'une validation préliminaire qui sera complétée ultérieurement et présentée dans un rapport futur. Enfin, dans la conclusion, nous tentons de dégager les principales orientations que nous entendons prendre dans la poursuite de nos travaux.

Chapitre 1

Présentation du projet de recherche

Un premier contact avec le milieu de l'enseignement professionnel fut établi lorsque deux professeurs de sciences de l'Université de Sherbrooke furent appelés à donner des cours aux enseignants inscrits au baccalauréat en enseignement professionnel (B.E.P.). Ces cours avaient pour objet de combler chez ces enseignants des lacunes en sciences chimiques et physiques. On demandait que ces cours soient les plus appliqués possible à l'enseignement professionnel de sorte que les enseignants puissent éventuellement transférer les notions acquises à leurs élèves. La préparation et la prestation des cours ont amené les deux universitaires à scruter davantage les problèmes d'apprentissage des élèves du secteur professionnel dans le champ du soudage.

Le temps consacré à se familiariser avec la structure d'enseignement et les programmes d'hydrothermie a permis, par la même occasion, de remarquer une absence d'initiation préalable des élèves en sciences; les rendant ainsi peu familiers avec l'assimilation logique des concepts scientifiques rencontrés en soudage. On a aussi noté que les programmes d'hydrothermie décrivaient les objectifs généraux en terme d'acquisition de connaissances, d'habiletés et d'attitudes et que les objectifs terminaux des modules d'enseignement étaient axés beaucoup plus sur l'apprentissage de la technique que sur la compréhension des phénomènes physiques et chimiques induits lors d'une opération de soudage. Sont aussi constatés les nombreux problèmes que rencontrent les enseignants suite au manque quasi total de matériel didactique pour l'enseignement de notions scientifiques (guide de l'élève, cahier d'exercices, guide du maître, etc...) Même les manuels scolaires utilisés sont peu explicites concernant les notions scientifiques fondamentales.

Une étude, faite par l'un des membres de notre équipe, sur les nombreuses techniques de soudage, a permis de dégager une liste imposante de notions de sciences de base nécessaires pour une compréhension adéquate de ce champ d'activités.

Une enquête d'opinion fut effectuée auprès des professeurs en soudage de l'Estrie. Le répondant devait inscrire un chiffre de 1 à 4 aux lettres P,E et I, associées à chaque notion. Ces chiffres indiquent sa propre évaluation du degré de connaissance de cette notion par lui-même (lettre P), par les élèves (lettre E) et de l'importance de ce concept pour l'apprentissage en soudage (lettre I). Le chiffre 1 indique que la notion n'est pas connue (aux lettres P et E) ou pas importante (à la lettre I). Les chiffres 2, 3 ou 4 indiquent une augmentation graduelle de la compréhension ou de l'importance de la notion. Les 87 concepts soumis à l'évaluation ont été ensuite regroupés en domaines plus génériques. Le tableau montre les résultats

DOMAINE	PROFESSEUR P	ELÈVE E	IMPORTANCE I	ÉCART I-P	ÉCART I-E
Mécanique classique	2,32	1,44	2,28	-0.04	+0,84
Métallurgie	1,85	1,04	2,27	+0,42	+1,23
Électricité	2,07	1,44	2,36	+0,29	+0,92
Propriétés des métaux	2,97	1,60	2,90	-0,07	+1,30
Chimie	2,62	1,45	2,39	-0,23	+0,94
Plasma	2,52	1,70	2,86	+0,34	+1,16
Ultra-sons et rayonnement	2,00	1,50	2,50	+0,50	+1,00
Lasers et électrons	1,59	1,11	2,08	+0,49	+0,97

de cette compilation en indiquant la moyenne des réponses pour chaque domaine et les différences entre l'importance de ces domaines en soudage et le degré de connaissances indiqué par les enseignants pour eux-mêmes (I-P) et pour les élèves (I-E). Une valeur positive pour ces écarts indique un besoin d'amélioration dans la compréhension des notions.

À l'examen des résultats compilés dans le tableau précédent, il se dégage, selon les enseignants, une impression très nette d'une connaissance insuffisante des concepts de base chez les élèves et ce dans tous les domaines. Cependant certains domaines tels les plasmas, les ultra-sons, le rayonnement, les lasers et les faisceaux d'électrons n'interviennent que pour les techniques avancées de soudage et pour l'analyse de la qualité des soudures. Il en va tout autrement pour la métallurgie. Il semble, d'après la perception des enseignants, que les élèves n'ont aucune connaissance des concepts élémentaires de cette discipline (valeur de 1,04) et cela doit être souligné car le soudage est en premier lieu une opération métallurgique. Il faut également noter que même les enseignants avouent que ce domaine leur est peu familier (valeur de 1,85). De plus, le degré de connaissance des élèves semble ne pas augmenter avec l'augmentation des connaissances de l'enseignant. En effet, alors que ces enseignants ont peu de connaissances en métallurgie (1,85) et qu'ils en ont beaucoup plus en propriétés physiques des métaux (2,97), ils estiment qu'un besoin d'amélioration est nécessaire en métallurgie (I - P = +0.42) mais non en propriétés physiques des métaux (I - P = -0,07). Cependant, même s'ils perçoivent que la connaissance des élèves est plus forte en propriétés physiques des métaux qu'en métallurgie (1,60 vs 1,04), le besoin d'amélioration pour ceux-ci(I-E) demeure aussi urgent (+1,30 vs +1,23 respectivement). On pourrait faire des corrélations semblables pour l'électricité et la chimie où il semble que l'augmentation des connaissances chez les enseignants (P = 2,07 et 2,62) n'entraîne pas nécessairement une amélioration du degré de connaissances chez les élèves (E = 1,44 et 1,45) et le besoin en amélioration (I-E)

est sensiblement le même (+0,92 et +0,94). Le résultat général de cette perception des enseignants du degré de connaissances pour eux-mêmes et pour leurs élèves semble indiquer que le transfert des connaissances ne se fait pas et que l'enseignant continue à se sentir plus à l'aise à l'atelier.

Ainsi, les résultats de cette enquête préliminaire nous ont conduit à élaborer un projet d'intervention s'adressant directement aux élèves, sous la forme d'un matériel didactique approprié. Ce matériel devait être conçu de manière à favoriser la maîtrise des concepts scientifiques nécessaires à la compréhension des phénomènes que les élèves induisent en effectuant une soudure.

Pour faciliter l'élaboration d'un matériel didactique mieux adapté, une phase d'observation s'avérait nécessaire. Elle avait pour but d'analyser le niveau de connaissances et les difficultés d'apprentissage de ces élèves.

L'approche privilégiée par notre équipe de recherche s'inspire d'une démarche inductive qui, à partir de l'observation de situations concrètes et d'analogies, amène l'élève à découvrir un principe scientifique, à l'appliquer à une situation nouvelle et à mieux prévoir les conséquences de ses gestes professionnels actuels et futurs.

Guidés par cette philosophie générale, nous nous sommes limités, dans un premier temps, à concevoir des modules d'apprentissage axés sur la compréhension de concepts et principes scientifiques, à l'aide d'analogies et de questions guidant la réflexion de l'élève. D'autres éléments devront s'ajouter ultérieurement, de manière à insérer la production de matériel dans une stratégie globale permettant d'accroître ainsi son efficacité.

Chapitre 2

L'importance des concepts scientifiques de base en soudage dans les programmes de formation et le matériel didactique

Un des objectifs de notre recherche est de favoriser chez les élèves du secteur professionnel en hydrothermie section soudage la compréhension des phénomènes physiques et chimiques qu'ils provoquent lors de l'exécution d'une soudure.

La compréhension comme objectif d'enseignement peut se traduire en termes de comportement où l'élève identifie des faits et des principes, interprète du matériel verbal et le traduit en formules, graphiques ou schémas, estime les conséquences futures des données en justifiant les méthodes et les procédures utilisées.

Examinons si la compréhension des phénomènes scientifiques est valorisée dans le champ professionnel du soudage en ce qui a trait à la formation des élèves, aux programmes d'étude, aux documents didactiques fournis aux enseignants et aux manuels scolaires utilisés.

2.1. Formation scientifique des élèves

Quel est le profil de formation des élèves actuellement inscrits au professionnel long en soudage? Ces élèves ont généralement terminé les trois premières années du secondaire. Lors du premier cycle du secondaire (secondaires 1 et 2) l'élève fait l'apprentissage de matières de base (français, anglais, mathématiques, formation de la

personne) et des matières de culture générale (histoire, géographie, arts, musique, écologie, etc.). En troisième année du secondaire, l'élève continue sa formation en matières de base et en matières de culture générale avec des cours obligatoires en biologie humaine et, soit économie familiale, soit initiation à la technologie. De plus, existe la possibilité de prendre le cours optionnel de sciences physiques. Dans ce dernier cours, le programme d'études spécifie cinq modules possibles: météorologie, roches et minéraux, solutions, chaleur, changements de phases; un des deux premiers modules au moins est obligatoire et un total de quatre modules constitue le programme complet (1). Plus particulièrement, les deux derniers modules auraient certes une importance pour les élèves se dirigeant en soudage. Comme pratiquement aucun élève se destinant au professionnel ne prend, comme cours à option, Sciences physiques, on peut donc affirmer que le profil de formation scientifique des élèves inscrits en soudage ne comporte aucune préparation antérieure concernant les sciences de base, aucune notion générale de physique ni de chimie.

Depuis mai 1982, le Ministère de l'Éducation a lancé des "Propositions de relance et de renouveau" de "La formation professionnelle des jeunes" où, selon les dispositions du nouveau régime pédagogique, l'école secondaire offrirait généralement la formation professionnelle après la cinquième année, rendant ainsi accessible un diplôme d'études professionnelles (DEP) distinct du diplôme d'études secondaires (DES).

Le report de la formation professionnelle après la cinquième année, pour le plus grand nombre possible des élèves, vise un double objectif: appuyer la formation professionnelle sur une formation de base large et solide; donner à la formation professionnelle toute l'importance et toute la qualité que requiert l'évolution technologique.

Les "Propositions de relance et de renouveau" furent soumises à la réflexion collective et, en février dernier, le Ministère de l'Éducation faisait part des orientations et des voies d'action retenues dans un document appelé "La formation professionnelle dans le système scolaire" (2).

Quelle serait alors la formation scientifique des jeunes? A compter de 1986-87, le régime pédagogique (articles 34 à 38 inclusivement) s'appliquerait aux élèves de la formation professionnelle. Ce régime pédagogique prévoit en 4e et aussi en 5e secondaire un total de 20 crédits constitués de cours de langue maternelle (6 crédits), de langue seconde (4 crédits), de mathématiques (4 crédits), de formation de la personne (6 crédits). Les 36 crédits exigés par année seraient complétés en 4e année par des cours d'histoire (4 crédits) et de sciences (4 crédits) ainsi que par des cours optionnels (8 crédits); en 5e année, 4 crédits d'éducation économique et 12 crédits optionnels compléteraient les exigences de 36 crédits au total.

Donc, en 1986-87 le nouveau régime pédagogique imposerait en 4e année 4 crédits de sciences en plus des cours de sciences physiques (2 crédits) en 2e secondaire et d'initiation à la technologie (4 crédits) en 3e secondaire. Les jeunes inscrits en formation professionnelle auraient donc été exposés à certaines notions de sciences; restera à voir si ces notions seront maîtrisées et si elles seront pertinentes à leur champ d'activité.

2.2. Formation professionnelle

Dans le régime pédagogique actuel, la formation scientifique des élèves est nulle à leur entrée dans le secteur hydrothermie. Ce programme d'études secondaires est actuellement constitué d'un tronc commun appelé fabrication métallique (300-100 ou 301-400) (3) condui-

Pour en arriver à cette formation de soudeur, l'élève au secondaire 4 passe par le tronc commun - Fabrication métallique - (300-100) constitué de 21 modules, totalisant 27 000 minutes (3), puis au secondaire 5, l'élève suit le profil Soudeur général (308-500) (4) décomposé en 23 modules totalisant 45 000 minutes. Parmi les 44 modules mentionnés, 7 concernent le dessin technique et 1 la sécurité générale.

Pour chacun des cours, chaque module est brièvement décrit en terme d'objectif général, d'objectifs terminaux et de contenu d'apprentissage. Parmi la quarantaine d'objectifs généraux des modules, nombreux sont ceux ayant trait au domaine psycho-moteur "être capable de souder, de mesurer, d'utiliser les outils, d'appliquer les règles, d'opérer les machines, de monter un poste, de couper, de fabriquer, etc..." On note une fois, identifier, caractériser et transformer les différents matériaux de fabrication métallique; une autre fois, sélectionner les matériaux de base; et aussi, prévoir et atténuer les effets de la chaleur et du refroidissement occasionnés par le soudage. On peut voir d'après la nature de ces derniers objectifs que les élèves auront besoin d'une bonne compréhension des concepts de base des phénomènes en présence, faute de quoi ils ne réussiront pas à les atteindre.

2.2.2. Régime pédagogique éventuel

Le répertoire des profils de formation professionnelle du champ métallurgie (5) présente des éléments de connaissance groupés en unités modulaires qui, à leur tour, sont groupés en grandes catégories d'activités. Ces éléments de connaissance sont énoncés sous forme d'objectifs formulés en termes de comportement précis, observable et mesurable, et chaque objectif est suivi d'un chiffre, mis entre parenthèses, indiquant le niveau taxonomique de Bloom (6), soit 1 pour la connaissance, 2 pour la compréhension, 3 pour l'application et 4 pour

sant à des profils réguliers du secteur professionnel dont soudeur général (308-500) (4).

Dans le nouveau régime pédagogique, le report de la formation professionnelle après la 5e année implique une amélioration et une mise à jour des programmes pour tenir compte de la formation différente des élèves. Des répertoires de profils de formation professionnelle et des répertoires d'éléments de connaissance sont maintenant disponibles. Parmi les 22 champs d'activités socio-économiques développés au Québec, celui qui nous intéresse ici est le champ métallurgie (5) regroupant diverses fonctions-type dont celle de la catégorie soudage.

Examinons dans le secteur hydrothermie (régime pédagogique actuel) et dans le champ métallurgie (régime pédagogique éventuel) quelle est la place réservée aux éléments de connaissance et de compréhension des concepts scientifiques de base.

2.2.1. Régime pédagogique actuel

Le programme d'étude du secondaire professionnel hydrothermie pour la formation du soudeur général spécifie, parmi les objectifs généraux dans le domaine des connaissances, des habiletés et des attitudes (2):

- "Faire comprendre les principes des divers procédés de soudage et les techniques de base qui en régissent l'application".

- "Développer chez l'élève les principes de la logique et des sciences pour lui permettre de recueillir des données, d'interpréter des directives techniques contenues dans des manuels, des graphiques, d'appliquer des formules mathématiques, des procédures particulières pour certaines applications afin de résoudre des problèmes inhérents au domaine des activités professionnelles concernées".

l'analyse. La catégorie d'activités appelée soudage (7) comprend 12 unités modulaires. Pour la fonction soudeur général, (8), on ajoute la catégorie Dessin et traçage (8 unités) de même que 4 unités dans traitement des métaux, 5 unités dans analyses et essais et finalement 5 unités dans organisation des ateliers. L'unité modulaire 04-01, intitulée Notions de soudabilité des métaux, constitue un exemple de la façon dont sont formulés les objectifs (9). La compilation du nombre d'objectifs par niveau de taxonomie de Bloom donne le tableau suivant par catégorie d'activité:

CATÉGORIE D'ACTIVITÉ	NIVEAU			
	1	2	3	4
4- Soudage (12 unités modulaires)	23	84	84	2
5- Entretien et réparation (4 unités modulaires)	16	49	16	2
6- Traitement des métaux (4 unités modulaires)	27	49	16	1
7- Analyses et essais (5 unités modulaires)	14	72	14	15
TOTAL (484)	80	254	130	20

On remarque que pour l'aspect phénomènes scientifiques de base en soudage, on n'a pas compilé les objectifs de la catégorie Dessin et traçage (8 unités modulaires) de même que les 5 unités dans la catégorie Organisation des ateliers.

D'une façon générale, l'accent est ici mis sur la compréhension, le niveau 2 représentant au total 53% des objectifs compilés; les objectifs d'application totalisent 27% et les objectifs de connaissance 16%; 4% des objectifs sont du niveau de l'analyse.

Si dans l'ancien programme d'hydrothermie qui est toujours en application, la très grande majorité des objectifs généraux spécifiés pour chacun des 36 modules s'arrêtent au niveau de la connaissance, les objectifs dans le nouveau progamme du champ métallurgie sont formulés pour plus de 80% aux niveaux 2, 3 et 4. C'est un changement à signaler qui pose une nouvelle exigence pour les enseignants et le matériel didactique qui sera élaboré devra en tenir compte.

2.3. Le matériel didactique fourni aux enseignants

Pour l'atteinte des objectifs formulés dans les programmes, les enseignants ont besoin d'être guidés et soutenus par du matériel approprié. Le programme d'études du secondaire en hydrothermie décrit les ressources matérielles pertinentes (10) en signalant une liste de manuels et de matériel audio-visuel "destinée à aider le maître à préparer son enseignement". De plus il est écrit: "En ce qui concerne le matériel à remettre entre les mains des élèves, il faudra se référer à la liste officielle des manuels agréés". Ce dernier aspect sera traité au point suivant.

Considérons d'abord les manuels, puis le matériel audiovisuel et enfin les notes produites par la Direction générale de l'éducation des adultes.

2.3.1. Manuels

La brochure décrivant le programme d'études pour la formation de soudeur général spécifie une liste de 38 titres de manuels et de 4 documents audio-visuels (11). Pour le tronc commun de fabrication

métallique (300-100) on retrouve une liste de 46 manuels et de 42 documents audio-visuels (12). Cependant, il faut le répéter: **tous ces ouvrages sont destinés "à aider le maître à préparer son enseignement".**

En fabrication métallique, on trouve des catalogues de fournisseurs, des livrets d'instruction des manufacturiers, des livres traitant du dessin industriel, du traçage et des instruments de mesures, des guides de sécurité, des volumes traitant des matériaux industriels, des livres sur les outils, des traités d'initiation à la fonderie et à la forge, des précis de ferblanterie. On trouve dans la liste trois volumes de soudage agréés pour les élèves et aussi 18 volumes anglais, dont beaucoup portent sur le soudage.

Pour la formation de soudeur général, l'enseignant peut puiser des informations dans une liste de 38 manuels dont les sujets sont aussi variés que ceux décrits au paragraphe précédent.

Les manuels traitant plus spécifiquement du soudage (voir liste à l'annexe 1) furent évalués sous l'aspect des explications permettant une meilleure compréhension des concepts scientifiques de base.

Quelques-uns de ces documents ne sont que des recueils de notes techniques et de trucs du métier. D'autres livres présentent des notions très avancées dans le domaine et devraient servir d'aide-mémoire aux travailleurs, ingénieurs et chercheurs et peuvent ainsi être utiles aux enseignants pour la préparation de leurs cours. Le niveau de ces volumes est trop avancé; les concepts scientifiques sont traités en présupposant que les lecteurs ont déjà acquis les concepts de base. Certains manuels comportent des explications de phénomènes scientifiques mais rares, très rares sont ceux qui permettent une visualisation simple des notions de base. En somme, aucune des références citées n'est adaptée à un cours de soudage s'adressant à des élèves qui n'ont au préalable aucune formation scientifique.

2.3.2. Matériel audiovisuel

Une liste de diaporamas (voir annexe 1) fut sélectionnée et évaluée.

En résumé, ces diapositives donnent une description générale des procédés de soudage et des équipements disponibles. Les explications des phénomènes à la base du soudage sont ou absentes ou très brèves. On relève quelques explications sommaires concernant la fusion, la production d'arc, la conductivité, la contraction et le magnétisme mais ces commentaires sont la plupart du temps perdus dans un ensemble d'explications trop détaillées comme par exemple celles traitant des codes des électrodes.

Des films, dont entre autres le soudage I et II de Moreland-Latchford et le vidéo Eureka de TV Ontario, 1982, furent visionnés et évalués.

Les commentaires recueillis notent que la plupart des films ne démontrent pas explicitement les notions scientifiques et demeurent donc superficiels à ces égards. Par exemple, dans les films de Moreland-Latchford, on y décrit les équipements (fers, outils), les produits (décapants) et les méthodes (étamage, brasage). Les commentaires concernant les émissions télévisées sont beaucoup plus positifs. Le contenu des quatre premières émissions d'une durée d'environ quinze minutes chacune présente des notions scientifiques d'une façon claire, amusante et bien structurée. Ces émissions portent sur les forces (Gain mécanique, Machines fondamentales et Poulies), sur les phases (Molécules dans les solides, Molécules dans les liquides et Vaporisation et condensation), sur la chaleur (Dilatation et contraction, Mesures de température et Différence entre chaleur et température) et enfin sur la conduction (Atomes et molécules et Conduction). La seule limite de la série Eureka, c'est qu'elle n'a pas été conçue en fonction du soudage; cependant ces vidéos peuvent être proposés comme ressources

pour du matériel complémentaire à des modules d'apprentissage relatifs au soudage.

2.3.3. Notes de cours (Éducation des adultes)

Ces documents (13) consistent en 35 notes technologiques accompagnées de 14 guides d'apprentissage et de matériel d'évaluation tant du point de vue connaissance que du point de vue pratique. Ce matériel est très volumineux, (4200 pages), élaboré et bien structuré. On est porté à croire que tout ce qui touche au soudage est compilé dans ces notes. Cependant, on sert à l'utilisateur un avertissement au début de chaque note technologique à l'effet que "ce document n'est pas un programme de formation mais uniquement un recueil de notes sur des sujets techniques se rapportant au soudage".

Ces documents ont été conçus et élaborés en fonction des adultes. Les textes sont littéraires, sans résumés ni encadrés, sans objectifs clairement identifiés. Si on y trouve certaines explications de phénomènes scientifiques, ceci est fait brièvement d'une façon descriptive, sans élaboration permettant une meilleure compréhension. Les connaissances de notions de base en physique et en chimie sont presque toujours absentes.

En résumé, le matériel fourni aux enseignants pour préparer leurs cours est abondant, varié et élaboré. Cependant tout ce matériel est inadéquat pour les élèves car il n'est pas conçu pour eux. En effet il présente des lacunes dans le sens d'une trop grande complexité ou d'une trop grande élaboration ou encore il est présenté dans une forme trop littéraire ou textuelle. De plus, certains manuels présupposent une connaissance antérieure des concepts scientifiques, ce que les élèves n'ont pas. Il existe certains montages pour illustrer des phénomènes de base comme la dilatation, mais ces montages se retrouvent dans les laboratoires de physique et non pas en atelier de soudage.

2.4. Manuels scolaires utilisés

Si la compréhension des phénomènes scientifiques provoqués lors de l'exécution d'une soudure n'est pas valorisée dans le programme actuel, n'est pas facilitée par la formation antérieure des élèves et n'est pas favorisée par les outils pédagogiques fournis aux enseignants, qu'en est-il des explications de ces phénomènes scientifiques dans les manuels scolaires utilisés en soudage?

La Direction générale de développement pédagogique a publié une liste du matériel didactique autorisé par le ministère de l'Éducation et destiné aux élèves. La liste de 1979-1980 comprend 3 manuels pour le soudage (14) et la liste de 1982 indique des manuels dont la fin de l'approbation est fixée en juin 1984 (15). Les trois volumes qui semblent utilisés en soudage partout au Québec sont les suivants:

Le soudage de James A. Pender (16)
McGraw-Hill, 1972

Le soudage oxyacétylénique de (17)
Yves Lanouette et Yvon Gratton
Ministère de l'Éducation du Québec
2ē Édition 1958 - 10 réimpressions dont la dernière date de 1977.

Le soudage à l'arc électrique de (18)
Yvon Gratton et Yves Lanouette
Ministère de l'Éducation du Québec
3e Édition 1966 - 7 réimpressions dont la dernière date de 1975.

Les méthodes d'analyse des manuels scolaires peuvent varier selon les aspects envisagés comme, par exemple, le contenu, les réalisations matérielle et didactique, la cohérence méthodologique, la natu-

re du discours, l'adaptation aux élèves concernés. Peu importe l'angle d'analyse, un manuel scolaire doit répondre à certains critères communs que l'on retrouve dans tous les domaines d'enseignement dans tous les pays. Un manuel scolaire (19) est un livre destiné aux élèves pour faire l'apprentissage des éléments essentiels d'une matière ou d'une discipline dans le cadre d'un programme.

L'adresse du sous-ministre Jacques Girard spécifie que "les analyses et les consultations ... ont permis de constater des carences en matériel didactique de base" (14). Et pourtant la définition de matériel didactique est suffisamment large. "Le Ministère considère comme matériel didactique tout ouvrage qui comporte de l'information, c'est-à-dire qui expose, explique ou illustre des notions, ou qui propose des activités pouvant être utiles à l'enseignement".

Passons rapidement sur la présentation matérielle des trois volumes utilisés pour l'enseignement du soudage en mentionnant simplement les pauvres procédés graphiques, la faible lisibilité, le piètre attrait visuel, le type de caractère trop petit, l'absence de couleur. Ne discutons pas non plus du contenu pédagogique concernant l'absence de formulation d'objectifs, le degré d'inadaptation du contenu et du langage aux élèves, le manque de questions et d'exercices, l'absence de matériel d'accompagnement (guide du maître, cahier d'élèves, films, diaporamas, disques, vidéos).

Essayons plutôt de scruter l'aspect scientifique des phénomènes rencontrés en soudage. Pour mieux cerner cet aspect, cinq thèmes furent sélectionnés. Le choix de ces sujets fut guidé par une enquête d'opinion effectuée auprès des professeurs en soudage de l'Estrie. Cette enquête comprenait 87 concepts scientifiques portant sur tous les aspects des techniques de soudage. Le répondant devait chiffrer pour chaque notion le degré de connaissance qu'il estimait posséder lui-même, le degré de connaissance qu'il évaluait chez ses élèves de même que l'importance qu'il accordait à cette notion dans l'apprentissage du soudage. Les résultats de l'enquête ont permis de regrouper les 87

concepts en domaines plus génériques et d'identifier ceux où le besoin d'amélioration de l'apprentissage des élèves était plus important selon l'avis même des enseignants.

Cette estimation par les enseignants des concepts où le degré de connaissance des élèves laisse à désirer fut comparée avec les résultats d'un test portant sur 15 aspects scientifiques, test passé à un groupe de 11 et de 14 élèves du professionnel long en soudage, respectivement en secondaire 4 et 5. Les résultats obtenus par les élèves dans ce test confirment l'estimation des enseignants. Les points où les élèves ont le moins bien réussi font partie des lacunes identifiées par les enseignants.

L'indication de points faibles chez les élèves tant par l'estimation qu'en ont faite les enseignants que par les résultats obtenus sur un test par deux groupes d'élèves est corroborée également par l'observation des élèves en classe et par des échanges et discussions moins structurés avec les enseignants. Tous ces aspects amènent une convergence vers les cinq thèmes suivants:

1.- les changements de phase de la matière avec entre autres la fusion causée par l'apport de chaleur sur le métal à souder;
2.- le phénomène de dilatation thermique et la contraction qui s'en suit;
3.- le courant électrique tant continu qu'alternatif avec les machines utilisées pour le soudage à l'arc électrique;
4.- la conductivité thermique et électrique des métaux;
5.- les propriétés générales des métaux utilisés en soudage y compris l'oxydation et l'influence de l'atmosphère lors du soudage.

Examinons maintenant chacun de ces thèmes dans les trois volumes utilisés par les enseignants.

2.4.1. Changement de phase de la matière dont principalement la fusion

Chez Pender (16), l'index ne spécifie même pas les termes liquide, solide et phase. Sous fusion on retrouve ligne de fusion et manque de fusion mais jamais une explication de ce qu'est la fusion, de ce qui provoque la fusion. Rien n'empêche que dès la première page du premier chapitre, on compte déjà cinq fois le mot fusion dont fusion des bords, fer en fusion, soudage par fusion et soudage sans fusion. On rencontre également le terme fusion dans la première page du premier chapitre de Lanouette et Gratton (17) sans aucune explication du phénomène. Le chapitre II, Premiers exercices de soudage commence ainsi: "Les premiers exercices de soudage consistent à exécuter des lignes de fusion sans métal d'apport". On n'explique pas le phénomène et on continue ainsi tout en décrivant comment bien exécuter une ligne de fusion avec ou sans métal d'apport et en décrivant les qualités d'une bonne ligne de fusion. On donne même un tableau donnant la couleur selon la température de fusion des métaux ou alliages. Dès la première page du volume de Gratton et Lanouette (18), on parle de fusion des métaux sous l'influence de la chaleur de l'arc, de volatilisation de la matière, de pression mais sans encore une fois expliquer ces phénomènes. Plus loin, on mentionne comme un des défauts des soudures le manque de fusion.

Concernant les gaz, dans Pender (16), on décrit le soudage à l'arc avec protection alors que la soudure est protégée par un écran qui peut être, entre autres, un gaz inerte. On parle ainsi de soudage au gaz, de mélanges de gaz combustibles, de gaz explosifs mais sans rien donner sur l'état gazeux. Le chapitre 7 traite de l'oxycoupage et on y parle de la pression des gaz sans aucune explication. Pour les procédés TIG et MIG, on parle des gaz de protection, de gaz inerte, de mélange de gaz. Lanouette et Gratton (17) parlent dès les premières pages, de gaz, de mélange de gaz, de réaction de gaz, d'extraction de gaz, de liquéfaction de l'air, d'embouteillage, de solubilité, de

pression, de détention.

On semble postuler que les élèves du professionnel possèdent la science infuse concernant ces notions scientifiques et qu'ils n'ont pas besoin d'explication, contrairement aux élèves du secteur général inscrits par exemple au cours de chimie qui eux passent plusieurs heures afin d'expérimenter ce qu'est la fusion, afin de déterminer la chaleur requise pour faire fondre une substance, la chaleur spécifique de fusion sans compter le temps nécessaire à la compréhension des propriétés des trois états de la matière, gaz, liquides et solides.

Dans les trois manuels utilisés en soudage, on ne trouve aucune explication du phénomène de fusion et de la chaleur de fusion. Et pourtant l'étude de ces principes gouverne le choix des combustibles en fonction de la chaleur dégagée et de la température de fusion des métaux à souder. La connaissance des propriétés des gaz permettrait de mieux comprendre la mise en route et le réglage d'un poste de soudage oxyacétylénique et de mieux mettre en application les règles de sécurité concernant l'usage des gaz.

2.4.2. Phénomènes de dilatation thermique et de contraction

Pender (16) commence ainsi le chapitre consacré à ces phénomènes: "Il est indispensable pour un soudeur de bien comprendre comment et pourquoi une pièce métallique se dilate et se contracte". Aux trois paragraphes suivants, l'auteur décrit d'abord une pièce cassée soudable sans problème car les deux extrémités sont libres de se déplacer, puis une barre brisée faisant partie d'un cadre et, dans ce dernier cas, une façon de prévenir les cassures et déformations. Après cet énoncé prônant la nécessité de bien comprendre la dilatation et la contraction et sans plus d'explication, il est quelque peu surprenant de lire: "Le retrait et la dilatation des métaux sont des phénomènes bien connus". Et voilà! C'est tout! Le reste du chapitre parle de

déformations dues au retrait et de prévention de déformations.

Lanouette et Gratton (17) consacrent aussi un chapitre à la dilatation et au retrait. Les auteurs indiquent que "l'étude complète de la dilatation et du retrait relève plutôt des ingénieurs et des métallurgistes". On donne cependant une bonne explication du phénomène qui se passe lorsque les pièces chauffées sont libres de se déplacer dans l'espace ce qui, souligne-t-on, n'est pas le cas en soudage. On tente ici d'analyser et d'expliquer les phénomènes qui se passent avant, pendant et après l'exécution de la soudure. On parle de dilatation, de retrait, de tension, de coefficient de dilatation thermique, de dilatation linéaire, de conductivité thermique, de la fusion, de la solidification, des préventions et remèdes aux déformations. Cependant les explications et applications sont plus pour les enseignants que pour les élèves car elles sont plus des rappels de notions qu'un renseignement sur la nature profonde des phénomènes.

Gratton et Lanouette (18), dans leur chapitre sur la dilatation et le retrait, reprennent certaines notions et explications contenues dans le volume précédent avec des influences longitudinale, transversale et en épaisseur. Suivent cependant trois chapitres sur les tensions internes, les déformations et remèdes aux déformations. Au total, 35 pages consacrées à ces sujets mais la plupart sont des notes techniques pour prévenir les effets néfastes, pour contrer les déformations et les tensions internes.

Que sait l'élève sur le comportement interne du matériel chauffé? Comment pourra-t-il prévoir la position des pièces après refroidissement? Saura-t-il mieux prévenir les déformations? Une bonne compréhension de la dilatation thermique, sa nature, ses causes, ses effets, lui permettra de mieux comprendre les remèdes à appliquer, remèdes qu'il ne considérerait plus comme de simples recettes propres à contrer les déformations et les tensions internes.

2.4.3. Courant électrique

Chez Pender (16), le chapitre 10 s'intitule Soudage à l'arc et mesures de sécurité. Dans la première partie, on introduit les termes électrodes, arc, électron, conducteur, bornes négative et positive, courant continu et alternatif, isolant, polarité, intensité, sans parfois aucune explication. On mentionne aussi les machines utilisées, transformateurs, générateurs, redresseurs sans expliquer leur fonctionnement sinon en indiquant à quoi elles servent.

Gratton et Lanouette (18) consacrent leur premier chapitre à l'arc électrique. Après une introduction concernant l'arc électrique, ils écrivent "Pour bien comprendre le soudage à l'arc, il importe d'avoir quelques notions sur l'électricité. Pour faciliter l'étude de celle-ci, on la compare souvent à l'eau qui coule dans une conduite, il devient ainsi beaucoup plus facile de comprendre la pression, l'intensité, le volume, la quantité, etc." Suivent ensuite sur moins de deux pages des comparaisons entre un circuit hydraulique et un circuit électrique avec introduction de courant, génératrice, potentiel, intensité, ainsi que de la relation ampérage et voltage. On mentionne aussi les sources de courant électrique: génératrice à courant continu et à basse tension, redresseur au sélénium ou silicium, transformateur, sans aucune explication. On peut compter, sur trois pages et demie, l'introduction de 27 nouveaux termes, ce qui laisse peu de place aux explications. Le chapitre suivant est consacré aux machines à souder. Sur sept pages on rencontre plusieurs termes reliés à l'électricité comme par exemple dynamo, rhéostat, stator, condensateur et surtout une description des principales parties des machines sans jamais d'explications pertinentes.

2.4.4.Conductivité thermique et électrique

Dans tout le volume de Pender (16), il semble n'y avoir sur le sujet qu'un paragraphe où les conducteurs et les isolants sont définis comme étant des corps qui laissent ou qui ne laissent pas passer le courant électrique avec un tableau donnant 4 composés parmi chacun des groupes de bons, moyens ou mauvais conducteurs. Il n'est pas question de la conductivité thermique dans le chapitre des retraits et des déformations.

Dans le chapitre V de Lanouette et Gratton (17) traitant de dilatation et retrait, on retrouve un tableau donnant pour les métaux les plus employés en soudage la conductivité relative à l'argent (échelle 100) mais sans plus: aucune définition ni explication de la conductivité. Dans un chapitre portant sur les propriétés des métaux, il n'est même pas question de la conductivité.

Le volume de Gratton et Lanouette (18) sur le soudage à l'arc électrique souffre de la même absence concernant la notion de conductivité: on n'y trouve rien, comme si ce phénomène n'existait pas.

Et pourtant, la conductivité tant thermique qu'électrique est un des principaux facteurs qui déterminent la soudabilité. Ne vaudrait- il pas la peine de bien expliquer cette notion aux élèves? La compréhension de ce facteur ne leur faciliterait-il pas le choix de la bonne méthode de soudage, de la bonne technique?

2.4.5. Propriétés des métaux

Pender (16) commence ainsi son volume: "Le soudage consiste à unir deux métaux". On s'attend donc à y trouver les propriétés métalliques qui influencent la soudure elle-même, le mode de soudage et

la façon de souder. Le volume de Pender (16) est subdivisé en 18 chapitres. On retrouve les métaux au 15e chapitre. On y parle de métal pur et d'alliage comme introduction. Puis on distingue, parmi les métaux les plus utilisés, les métaux ferreux des non-ferreux. On trouve un tableau des points de fusion de certains métaux puis on termine avec quelques façons d'identifier les métaux comme la couleur, l'action de la flamme, l'action des aimants et l'aspect des étincelles.

Lanouette et Gratton (17) consacrent le chapitre VI à la métallurgie et le chapitre VII aux propriétés des métaux. En métallurgie, on mentionne sept facteurs qui déterminent la soudabilité des métaux aux alliages dont la conductivité thermique, son degré d'oxydation, etc... mais sans explication. On passe ensuite à la caractérisation de la structure du fer et de ses alliages, alors qu'on se permet de déterminer l'arrangement atomique du fer pur ou allié. Les propriétés des métaux que l'on décrit sont la charge de rupture, l'élasticité, la malléabilité, la ductilité, la fragilité, la ténacité, la résistance à la corrosion et la dureté. On retrouve par la suite ces notions appliquées à des métaux ou alliages particuliers comme, par exemple, dans le chapitre sur la fonte où on donne des chiffres ou des comparaisons de certaines propriétés.

Gratton et Lanouette (18) ne consacrent pas de chapitre aux propriétés métalliques mais utilisent certaines de ces notions pour les méthodes de contrôles et d'essais des soudures ainsi que dans les chapitres subséquents portant sur le soudage de différents métaux et aciers.

En somme, les trois manuels agréés par le MEQ et destinés aux élèves de soudage sont très peu éloquents concernant les explications de concepts scientifiques de base pertinents à ce secteur d'activité. Selon les cinq thèmes envisagés précédemment, on constate que systématiquement les explications des phénomènes de base sont ou très pauvres ou simplement absentes. A constater une telle absence d'explication,

on peut se demander si les volumes en question n'ont pas été conçus pour des élèves ayant déjà suivi un cours préalable où les notions scientifiques ont été expliquées. Comme ces volumes datent déjà de plusieurs années, on peut se demander s'ils n'ont pas été conçus de l'époque des anciens cours techniques où pouvait exister un premier cours général de sciences appliquées directement à la technique concernée, ce qui expliquerait une telle absence dans les volumes en question.

2.5. Conclusion

Parmi les faits à l'origine des problèmes d'apprentissage des élèves en soudage, en premier lieu nous relevons l'absence d'une initiation préalable en sciences de base rendant ainsi les élèves peu familiers avec l'assimilation logique des concepts scientifiques rencontrés dams ce domaine. Même si le nouveau programme met plus l'accent, par ses objectifs, sur la compréhension que sur la simple connaissance, nous constatons ensuite les nombreux problèmes que rencontrent les enseignants à cause du manque quasi total de matériel didactique pour expliciter les notions de sciences (guide de l'élève, guide du maître, cahiers d'exercices, etc.) Enfin, les volumes utilisés s'avèrent très pauvres en explications scientifiques.

Pour comparaison, le secteur chimie pour le cours de chimie 270-442 comporte plusieurs manuels de base (comme pour le soudage), cependant on retrouve en plus trois documents, un plan d'étude de l'étudiant, des évaluations-synthèses ainsi qu'un guide du maître (20). Le plan d'étude de l'étudiant décrit la marche à suivre pour chacune des unités avec les références pertinentes et les objectifs poursuivis; cette marche à suivre est parsemée de remarques, de mises au point, de questions, d'informations, et de problèmes, visant à aider l'élève à mieux comprendre. Les évaluations-synthèses sont des examens portant

sur chacune des unités constituant le cours avec en plus, la réponse à ces diverses questions de telle sorte que l'étudiant peut s'auto-évaluer avant de se présenter à l'examen. Enfin le guide du maître complète la trilogie en fournissant au professeur un guide pédagogique avec réponse aux questions, certaines remarques, des conseils... En hydrothermie on ne remet rien de tout cela sauf une pondération du temps d'enseignement qui n'est qu'indicative (3,4).

C'est pourquoi notre équipe de recherche a proposé d'élaborer et d'expérimenter en étroite collaboration avec des enseignants, une didactique visant à faire acquérir aux élèves du secondaire option soudage la maîtrise de notions, de concepts scientifiques qui fondent la technique et la technologie.

Chapitre 3

L'observation des élèves

Dans le cadre de notre projet, l'observation des élèves en situation d'apprentissage visait deux objectifs majeurs.

Tout d'abord, il s'agissait de cerner les principaux comportements des élèves face aux différentes tâches qui leur sont demandées par leurs professeurs, afin d'identifier les facteurs qui limitent leur apprentissage et ceux qui le facilitent. La connaissance de ces facteurs devait nous permettre de dégager des règles utiles à la conception d'un matériel didactique plus approprié.

En second lieu, l'observation des élèves permettait de recueillir certaines informations sur le type de situations d'apprentissage auxquelles ils sont soumis. La connaissance de ces situations nous apparaît comme un préalable indispensable à la conception des guides destinés aux enseignants. En effet, si l'on veut que ceux-ci soient effectivement utilisés par les enseignants, il conviendra de prendre en considération leurs pratiques actuelles, tout en les invitant à les dépasser.

Dans les sections qui suivent, nous présentons le guide d'observation, la méthodologie utilisée, les résultats obtenus ainsi que leurs implications pratiques.

3.1 Élaboration du guide d'observation

Lors de la conception du guide d'observation, nous avons dû tenir compte de certaines contraintes liées, d'une part, au projet de

recherche lui-même et, d'autre part, aux caractéristiques du contexte scolaire. C'est ainsi que notre guide devait répondre aux principales exigences suivantes:

- être facilement utilisable sans entraînement préalable et sans équipement particulier;

- mettre l'accent sur les comportements des élèves et non sur ceux des enseignants, afin de s'assurer de la collaboration de ces derniers;

- identifier des comportements directement observables afin de limiter l'intervention de jugements subjectifs de la part de l'observateur;

- tenir compte des différents comportements attendus des élèves (tâches) en distinguant le contexte du cours théorique de celui du travail en atelier.

Après quelques essais et ajustements, nous avons retenu le guide présenté sous forme de schémas dans les tableaux I et II. Ce guide a été conçu principalement pour établir un premier diagnostic des difficultés des élèves dans leurs tâches scolaires, indépendamment des notions qui leur sont présentées. C'est pourquoi il ne saurait être considéré comme un instrument d'observation exhaustif permettant une mesure quantitative des comportements en classe.

Tâches	Comportements des élèves
1. Suivre les explications de l'enseignant 2. Regarder et lire des acétates 3. Prendre des notes 4. Lire les explications 4.1 dans un livre 4.2 sur feuilles polycopiées	a) Prend des notes a_1) compréhensibles et complètes a_2) incompréhensibles et incomplètes a_3) incompréhensibles (noter la nature des difficultés) b) Écoute le professeur b_1) attentivement b_2) distraitement c) N'écoute pas d) Lit les explications présentées d_1) lecture littérale d_2) lecture balayage d_3) éprouve beaucoup de difficultés à lire e) Manifeste de l'indiscipline
5. Répondre aux questions du professeur 6. Poser des questions	f) Répond aux questions du professeur f_1) répond incorrectement f_2) répond correctement f_3) ne répond pas g) Pose des questions g_1) pose des questions pertinentes g_2) pose des questions non pertinentes g_3) ne pose pas de questions h) Éprouve des difficultés à s'exprimer verbalement
7. Répondre à un questionnaire (exercice ou examen)	i) Répond au questionnaire i_1) répond correctement i_2) répond incorrectement i_3) ne répond pas j) Éprouve des difficultés à s'exprimer par écrit

Tableau I: Schéma d'observation des élèves dans les cours théoriques de "techniques de soudage"

Tâches	Comportements des élèves
1. Appliquer une technique 2. Décider d'une technique et l'appliquer 3. Expliquer pourquoi on applique telle technique	a) Effectue correctement la tâche b) Effectue la tâche incorrectement c) Demande de l'aide (sous forme de démonstration ou explications) c_1) à ses pairs c_2) aux professeurs d) Donne de l'aide à un pair e) Écoute les explications f) N'écoute pas les explications g) Suit une démonstration h) Ne suit pas la démonstration proposée i) N'effectue pas la tâche j) Manifeste des comportements d'indiscipline k) Réaction face à l'échec dans la réalisation d'une tâche l) Utilisation des équipements l_1) correcte l_2) incorrecte m) Utilisation des outils m_1) correcte m_2) incorrecte n) Éprouve des difficultés à réaliser la tâche n_1) difficultés reliées au français n_2) difficultés reliées aux mathématiques n_3) autres difficultés

Tableau II: Schéma d'observation des élèves lors du travail en atelier de "techniques de soudage"

3.2 Méthodologie et conditions d'observation

Les observations ont été effectuées dans quatre classes distinctes, soit deux classes d'élèves de secondaire professionnel long, et deux classes d'élèves inscrits au professionnel court. Au total, quatre séances de travail en atelier et six séances de cours théoriques ont été observées. Le guide d'observation a été utilisé de façon très souple, en veillant toutefois à observer différents élèves à tour de rôle, pendant de courtes périodes de temps. Après les premières séances, nous avons jugé opportun d'analyser plus en détail les questions posées lors des séances de cours théoriques par les professeurs et les élèves, étant donné que celles-ci ont des incidences directes sur la compréhension des concepts. Pour la classification des questions, nous avons utilisé les catégories empruntées à la taxonomie des objectifs pédagogiques de B.S. Bloom (6)

Le nombre limité de séances d'observations s'explique par deux raisons majeures. En premier lieu, il faut signaler que les séances de cours théoriques sont peu nombreuses et il peut aussi arriver qu'elles soient annulées, en raison de la nécessité de prolonger la période de travail en atelier (reprise d'exercices). Les contraintes de la recherche ne nous permettaient pas de consacrer plusieurs mois à la phase d'observation, ce qui aurait été nécessaire si nous avions voulu augmenter le nombre de périodes d'observation afin de nous assurer de la représentativité des données recueillies. En second lieu, il faut noter la réticence initiale des professeurs à permettre des observations systématiques et répétées dans leurs classes. Même si les observations portaient presque exclusivement sur les élèves, ils se sentaient eux-mêmes jugés, du simple fait de la présence d'un observateur dans leur classe. Ils se sont cependant montrés très empressés à parler de leurs élèves, souvent sans y être invités explicitement.

Étant donné que les perceptions que les enseignants ont de leurs élèves influencent forcément le contenu et la forme de leur

enseignement, nous avons jugé que ces perceptions constituaient des données de la situation dont il faudra tenir compte pour l'introduction du matériel didactique destiné aux élèves, tout comme pour l'élaboration des guides pédagogiques. En conséquence, ces perceptions des enseignants sont consignées dans la section consacrée à la présentation des résultats.

Pour mieux identifier les difficultés de compréhension des élèves, nous avions le projet d'analyser de façon systématique les réponses fournies par ceux-ci aux questions posées à des fins d'évaluation. Cette intention n'a pu être réalisée dans la première phase de notre projet, en raison des réticences manifestées par les enseignants. Cependant nous avons nous-mêmes préparé et administré une épreuve écrite permettant d'évaluer la compréhension de certains concepts. Les résultats de cette évaluation sont présentés sous la rubrique "Évaluation préalable des étudiants".

3.3 Présentation des résultats

3.3.1 Observations des élèves dans les cours théoriques

Attention

La majorité des élèves sont attentifs lorsque le professeur donne des explications. On note cependant fréquemment des signes d'incompréhension dans le regard de plusieurs d'entre eux.

Les élèves sont étroitement guidés dans la prise de notes, ce qui ne permet pas d'utiliser leurs notes manuscrites pour estimer leur degré de compréhension. Les professeurs écrivent ce qu'ils jugent important au tableau et les élèves le copient intégralement. On remarque toutefois que les notes prises par les élèves sont souvent mal présentées (biffures, manque d'espace, abréviations), ce qui rend peu probable leur utilisation future par les élèves. La prise de notes ressemble donc plus à un rituel scolaire qu'à une activité devant déboucher sur l'apprentissage de notions.

Lecture

La plupart des élèves se contentent de lire dans les notes de cours polycopiées ou dans les manuels, les passages conseillés par l'enseignant pour compléter les exercices. À ce sujet, il convient de souligner que les élèves reçoivent une très grande quantité de feuilles polycopiées de différentes sources et de qualité très variable, ce qui ne les incite pas à les lire et encore moins à tenter d'en assimiler le contenu.

Interrogés directement sur l'intérêt qu'ils portent au manuel utilisé pour le cours, plusieurs avouent qu'ils n'éprouvent pas le besoin de le consulter, qu'ils se contentent des explications fournies en classe, qu'ils n'aiment pas les grands textes, que les feuilles polycopiées suffisent. Tout se passe comme si le manuel était un accessoire, peu ou pas exploité lors des activités d'apprentissage.

Réponses aux questions

Lorsque les professeurs font des révisions, les élèves répondent aux questions qui leur sont posées. Les questions portant sur les informations factuelles directement reliées à l'utilisation d'une technique, entraînent généralement de bonnes réponses. Pour ce qui concerne les questions de compréhension, les élèves ont plus de difficultés. Leurs réponses sont données avec peu d'assurance, formulées maladroitement et comportent souvent des inexactitudes. On note également des railleries de la part des camarades lorsqu'un élève se trompe.

3.3.2 Observations des élèves lors du travail en atelier

Les observations que nous avons faites en atelier nous ont amenés à constater que ce que les élèves ont à faire dans ce contexte,

c'est de réaliser une soudure. Les tâches sont présentées sous forme d'exercices gradués. Pour chaque exercice, le procédé à utiliser et les matériaux à souder sont clairement indiqués. À l'exception d'une période particulière pendant laquelle ils ont l'occasion de réaliser un projet plus personnel, les élèves ne peuvent pratiquement jamais prendre eux-mêmes des décisions concernant les techniques et procédés à utiliser.

Leur intelligence n'est pas non plus sollicitée pour découvrir les raisons de choisir une technique plutôt qu'une autre. Les arguments invoqués par les professeurs pour justifier cette situation sont présentés dans la section qui porte sur les perceptions des enseignants.

On note que la plupart des élèves effectuent le travail qui est exigé sans solliciter de l'aide auprès de leurs compagnons ni leur en fournir. Lorsqu'ils ont terminé, ils vont voir le professeur et lui demandent du feed-back du type "est-ce que c'est correct?", ou encore sollicitent des recettes pour corriger ou éviter une erreur. Le professeur évalue le travail globalement, donne des "trucs" ou des conseils et fait souvent reprendre le même exercice, même s'il est réussi, "pour que les élèves puissent se pratiquer". La plupart des élèves ne réussissent pas l'exercice au premier essai. L'enseignant ne fournit généralement pas d'explications théoriques et ne fait pas de démonstrations. Il faut préciser que le contexte est bruyant et peu propice à des communications verbales élaborées. Face à une difficulté ou à un jugement négatif du professeur, plusieurs élèves se découragent facilement et manifestent des comportements de frustration qui se traduisent par de l'indiscipline. Dans de telles situations, les équipements et les outils sont parfois utilisés sans que les règles de sécurité soient respectées. Notons de plus que l'organisation physique de l'atelier ne permet pas au professeur d'exercer un contrôle simultané sur tous les postes de soudage.

Dans l'ensemble, on peut dire que la majorité des élèves ne sont pas personnellement engagés dans la tâche qu'ils ont à réaliser, qu'ils se considèrent comme des exécutants et sont traités comme tels et qu'ils ne sont pas portés à s'interroger sur les raisons de leurs succès et de leurs échecs. De plus, ils semblent manquer de confiance en eux. Ceci peut s'expliquer par le fait que la grande majorité de ces étudiants ont déjà subi des échecs scolaires répétés, notamment en français, en mathématiques et en anglais. Selon les déclarations de l'orienteur, la plupart n'ont pas choisi cette option professionnelle, mais y sont dirigés "parce qu'ils ne sont pas considérés aptes à faire autre chose". Il n'est pas surprenant dans ces conditions que la motivation et l'estime de soi de ces élèves soit passablement entamées.

3.3.3 Perceptions des enseignants

Lors de notre présence en milieu scolaire, les enseignants ont communiqué fréquemment leurs perceptions des caractéristiques des élèves. Ces perceptions sont forcément empreintes de subjectivité et marquées d'une tendance à la généralisation à partir de cas particuliers. Elles doivent cependant être considérées comme des données importantes dans la mesure où elles influencent directement les interventions des enseignants en classe: contenu transmis, type de tâche proposé, modalités d'évaluation, type de question, etc. En conséquence, elles se répercutent nécessairement sur le rendement des élèves.

La plupart des perceptions rapportées dans cette section ont été exprimées par plusieurs professeurs.

Les enseignants insistent beaucoup sur les problèmes d'adaptation psycho-sociale vécus par une proportion importante des élèves. Ces problèmes se traduisent par des comportements déviants comme la

consommation de drogues, le vandalisme, la violence verbale et physique, la délinquance, l'apathie, etc. Ces problèmes sont considérés comme des obstacles majeurs à l'apprentissage scolaire de tous les élèves, y compris ceux qui n'en sont pas directement affectés. Ils semblent de plus provoquer chez les enseignants un sentiment d'impuissance et aussi une attitude fataliste face aux difficultés et échecs qu'ils rencontrent dans leur enseignement, attitude qui se traduit par des expressions comme:

"Que voulez-vous qu'on fasse avec des élèves qui...!"

Lorsqu'ils parlent des caractéristiques des élèves plus directement reliées au travail scolaire, ils expriment une vision généralement négative de leurs capacités, laquelle sert à justifier les attentes peu élevées qu'ils ont face à leur rendement scolaire. Ils jugent qu'ils ont une faible capacité de compréhension:

"Ils font semblant de comprendre mais la plupart ne comprennent rien, c'est pourquoi il faut toujours leur répéter et leur dire quoi faire..."

La majeure partie des élèves éprouvent des difficultés dans les situations de compréhension et les professeurs disent qu'ils enseignent en fonction de ceux-ci. C'est pourquoi ils estiment devoir répéter souvent des points importants de la matière théorique.

Ils relèvent des difficultés en mathématiques, même dans les opérations simples rencontrées en soudage comme les fractions, les divisions, l'utilisation d'une règle graduée en milimètres et en pouces, etc. Des difficultés en français écrit et parlé sont également rapportées fréquemment, lesquelles justifient des exigences réduites.

"Si vous voulez être capables de corriger un examen, ne leur posez jamais des questions auxquelles ils doivent répondre en formulant eux-mêmes la réponse!"

Les élèves sont également perçus comme peu responsables face à leur apprentissage et généralement inaptes à prendre les initiatives que requiert l'exécution de tâches complexes, comme celles que doit réaliser un vrai soudeur. Ce dernier point est particulièrement bien illustré par les raisons alléguées par un professeur pour justifier l'abandon d'un projet qu'il avait élaboré pour ses élèves il y a quelques années. Son diagnostic se résume comme suit:

- Un trop grand nombre d'élèves sont incapables d'estimer le temps requis pour évaluer l'ouvrage et a fortiori incapables d'évaluer le prix qui pourrait être exigé.

- Ils ont beaucoup de difficultés à identifier les profilés, ce qui demande entre autre le calcul du poids total à partir du poids linéaire et des dimensions.

- Ils sont incapables d'identifier le procédé d'assemblage, les matériaux utilisés, le métal d'apport et les électrodes (il y a trop de variétés).

- Ils ont besoin de confirmation dans tous les choix qu'ils ont à effectuer et sont souvent négligents face aux règles de sécurité.

Un tel diagnostic sert de support rationnel au recours systématique à des exercices structurés et répétitifs, ne laissant pas de place à l'initiative de l'élève.

3.3.4 Évaluation préalable des élèves

Un test de connaissances de base relatives au soudage a été administré en janvier à deux classes de professionnel long, une en secondaire IV et une en secondaire V. Le but de ce test était principalement de guider le choix des sujets sur lesquels devaient porter les premiers modules et de voir dans quelle mesure les lacunes perçues par les professeurs se reflétaient dans les performances des élèves. Les enseignants avaient à plusieurs reprises souligné la faiblesse des élèves dans la compréhension des phénomènes tels que le courant électrique et la dilatation thermique. Le tableau III présente les erreurs pour chacune des questions par niveau et identifie les lacunes principales dans les connaissances des élèves. Notons que les perceptions des professeurs concernant la compréhension des phénomènes reliés au courant électrique ont été confirmées, puisque plus du tiers des élèves n'ont pas réussi les deux questions qui traitaient du courant électrique, alors qu'il s'agissait de questions très simples.

Les questions 2 et 3 portant sur la dilatation et la contraction des métaux ont été administrées aux élèves de secondaire IV, bien que ceux-ci n'aient pas encore étudié ces notions dans les cours théoriques. Nous sommes d'avis que les réponses à ces questions fournissent des indications valables sur la capacité d'observation des élèves, puisque la contraction et la dilatation sont des phénomènes directement observables lorsque l'on pratique une soudure. Notons que les élèves de secondaire IV ont presque tous échoué à ces questions, ce qui indique soit une faible capacité d'observation, soit un manque de confiance dans leur jugement. Cette faiblesse pourrait également être reliée au fait que les exercices de soudage en atelier sont répétitifs et ne font pas appel à la capacité d'observation et de réflexion des jeunes.

Dans l'ensemble, on peut affirmer que les résultats au test se sont révélés plus positifs (moyenne de 81% en PL 5 et de 67% en PL 4) que ne le laissaient entrevoir les perceptions des professeurs.

Numéro de la quest.	Objet de la question	Fréquence d'erreurs 4e n=11	5e n=14	Total n= 25 val. abs.	%	Lacunes principales par ordre d'importance	
1	Fusion	0	2	2			
2	Dilatation*	9	3	12		Dilatation	②
3	Contraction*	8	1	9	36%	Contraction	
14	Déformation	4	2	6		Déformation	
4	Oxygène et acétylène	2	0	2			
5	Détendeur	1	1	2			
6	Source de chaleur lors du soudage à l'arc	2	1	3			
7	Courant électrique c.c.	4	5	9	34%	C. électr. c.c.	③
8	Courant électrique c.a.	3	5	8		C. électr. c.a.	
9	Différence métal/alliage	4	3	7		Diff. mét/all.	④
10	Métal ferreux	3	4	7	29%	Métal ferreux	
11	Reconnaissance des métaux	3	5	8		Reconn. métaux	
12	Conductivité thermique	1	1	2			
13	Conductivité électrique	0	1	1			
15	Oxydation	11	7	18	72%	Oxydation	①

* Concepts non enseignés directement en 4e année; les réponses à ces questions fournissent des indications sur la capacité d'observation des élèves à l'atelier.

Tableau III: Analyse des erreurs dans les réponses aux questions portant sur les connaissances de base en soudage

Ces professeurs avaient formulé des mises en garde concernant l'utilisation de termes scientifiques lors des tests. Pourtant les élèves n'ont formulé aucune remarque à ce sujet et se sont montrés très motivés à répondre, sans "l'appât" d'une bonne note à leur bulletin.

Ces résultats, bien que limités, tendent à démontrer que les professeurs sous-estiment les capacités de leurs élèves. Ce sont des résultats fragmentaires qu'il faudrait nécessairement étayer davantage par d'autres données, car de telles informations peuvent servir de base à une intervention directe auprès des élèves. Ces données devraient notamment couvrir un plus large éventail de notions et être recueillies auprès d'un plus grand nombre d'élèves.

3.4 Résumé et implications pratiques des résultats

Les observations réalisées en classe ainsi que les perceptions communiquées par les professeurs nous ont conduits à dégager plusieurs constats dont il importe de tenir compte dans toute tentative d'améliorer l'enseignement et l'apprentissage pour ces élèves.

Tout d'abord, la majorité des élèves sont généralement peu motivés face aux tâches scolaires, ils n'ont pas confiance dans leurs capacités de compréhension et d'apprentissage et ont une faible estime d'eux-mêmes. Ensuite, ils s'expriment maladroitement autant oralement que par écrit, leur capacité en lecture semble réduite et surtout ils n'ont pas le goût de lire et n'en voient pas la nécessité. Enfin, selon leurs professeurs et un orienteur, leurs performances en français et en mathématiques sont plutôt faibles. En résumé, on peut affirmer qu'ils ne maîtrisent pas les prérequis affectifs et cognitifs nécessaires à leur apprentissage, ce qui se traduit notamment par un investissement limité de leur part.

Ces données concernant les élèves présentent une vision partielle et pessimiste de la réalité, si on ne les met pas en relation avec les données qui caractérisent l'enseignement dispensé, lesquelles peuvent se résumer comme suit:

- les élèves reçoivent très peu d'explications en rapport avec les fondements scientifiques de la soudure;

- les travaux pratiques sont répétitifs et les connaissances théoriques factuelles plutôt que conceptuelles, ce qui encourage l'apprentissage "par coeur";

- l'intelligence, la curiosité scientifique et la capacité d'observation des élèves sont rarement sollicitées;

- les professeurs ont des attentes limitées vis-à-vis de leurs élèves et ne leur renvoient pas une image positive d'eux-mêmes,

- les élèves ne sont pas incités à prendre des responsabilités dans leur apprentissage.

Tout se passe comme si l'on était en présence d'un cercle vicieux: les enseignants jugent que leurs élèves ont peu d'aptitudes, ces derniers se sentent incapables et n'investissent pas, ce qui entraîne des attentes et un investissement moindres de la part des enseignants... Le matériel didactique que nous avons mis au point vise à créer une brèche dans ce cercle vicieux en tentant de restituer aux élèves et aux enseignants une prise sur ce qu'ils font.

Les caractéristiques observées en classe nous ont permis de dégager plusieurs implications pratiques, lesquelles ont servi de principes directeurs dans l'élaboration du matériel didactique:

1° La démarche d'apprentissage suscitée chez l'élève s'inspire d'une pédagogie de la réussite (Mastery Learning); elle veut permettre à l'élève de comprendre des phénomènes complexes et l'amener à constater par lui-même qu'il progresse dans son apprentissage. Ceci devrait graduellement augmenter sa confiance en lui-même en tant qu'apprenant.

2° Dans la mesure du possible, les textes contenus dans les modules sont courts, utilisent des phrases simples et sont présentés de façon à inciter l'élève à les lire.

3° Les concepts et principes expliqués sont fréquemment mis en relation avec les habiletés techniques, de manière à soutenir la motivation.

On peut donc espérer que, par un matériel didactique donnant confiance à l'étudiant et misant sur sa responsabilité personnelle face à l'apprentissage, il sera possible d'induire un effet positif sur son évolution générale et sur sa formation professionnelle, résultats qui, à leur tour, pourront stimuler les enseignants.

Chapitre 4

Présentation du matériel didactique pour l'apprentissage de concepts scientifiques de base en soudage

L'objectif central de la recherche présentée dans ce rapport réside dans la conception et la mise au point de matériel didactique. Ce matériel s'adresse prioritairement aux élèves en soudage et vise à leur faire apprendre les concepts scientifiques fondamentaux nécessaires à la compréhension de ce qu'ils font. À ce matériel de base s'ajoute des guides pédagogiques destinés à soutenir les enseignants dans leur intervention.

La production d'un tel matériel représente un travail considérable puisqu'elle exige l'examen du contenu de l'enseignement dispensé en soudage afin d'en dégager les principaux concepts devant faire l'objet d'un apprentissage. Malgré l'ampleur de cet objectif, il a été possible dans cette première étape de construire trois modules ainsi qu'une ébauche des guides pédagogiques associés à ces modules. On trouvera dans ce chapitre la présentation de la première version des modules disponibles actuellement. Ces modules font appel à des analogies concrètes qui illustrent le phénomène ou le concept pertinent à chacun de ceux-ci et en facilitent la compréhension. Nous présentons dans ce qui suit les justifications appropriées qui ont conduit au choix des analogies utilisées ainsi que la philosophie générale qui en a guidé la conception et la présentation.

4.1 La problématique de la construction d'un module

De façon schématique, on peut distinguer deux types d'approche applicables à la présentation des concepts scientifiques fondamentaux, à savoir l'approche déductive et l'approche inductive.

Appliquée au domaine d'étude se rapportant à notre projet, l'approche déductive consisterait à décrire et expliquer les phénomènes physiques dans un langage mathématique, en recourant à des formules résultant de raisonnements abstraits. Une approche purement inductive, quant à elle, tenterait de faire découvrir par l'élève les concepts et principes abstraits, à partir de l'observation systématique et prolongée de faits concrets, dans des situations aussi variées que possible.

L'utilisation de la première approche - l'approche déductive - n'est possible qu'à deux conditions:

- les étudiants doivent avoir atteint un stade de développement cognitif tel qu'ils peuvent raisonner sans référants concrets et manipuler mentalement de façon efficace tous les éléments fondamentaux du modèle abstrait représentant un phénomène;

- les étudiants doivent avoir déjà acquis suffisamment de connaissances en rapport avec le sujet concerné (i.e. physique et mathématiques) pour pouvoir utiliser dans ce contexte leur capacité de raisonner abstraitement.

Les données dont nous disposions sur les caractéristiques des élèves du professionnel long en soudage nous ont amené à exclure d'emblée cette approche, puisqu'elles nous indiquaient que la plupart des élèves ne répondaient à aucune des deux conditions. En effet, ces élèves n'ont pas reçu une formation suffisante en mathématiques pour pouvoir manipuler les symboles des formules décrivant un phénomène physique. De plus, les observations réalisées en classe ainsi que les témoignages des enseignants indiquent qu'ils ont de la difficulté à comprendre des concepts abstraits et à les manipuler correctement. En réalité, plusieurs ne semblent pas encore avoir atteint le stade de la pensée formelle.

Nous avons donc opté pour une approche plutôt inductive, sans pour autant l'utiliser de façon exclusive et cela pour différentes raisons: tout d'abord, il s'agit d'une approche qui exige énormément de temps et qui ne nous aurait pas permis de couvrir l'ensemble des concepts et principes scientifiques intervenant dans la réalisation d'une soudure. De plus, plusieurs des phénomènes à décrire et à expliquer ne peuvent être observés directement, car ils ne se manifestent que dans des conditions expérimentales particulières. Enfin, les élèves ont un développement cognitif suffisant pour pouvoir maîtriser des concepts et principes abstraits, sans qu'ils aient eux-mêmes à les redécouvrir, à condition qu'on leur fournisse un support concret suffisant. L'utilisation fréquente d'analogies entre les phénomènes physiques et des situations familières aux élèves ou pouvant facilement être imaginées par eux, nous a paru un moyen adéquat pour donner à leur pensée le support concret nécessaire. Ainsi par exemple, on peut comparer un phénomène physique à un jeu (celui de la course aux plumes pour la description de l'arc électrique), ou encore le représenter sous la forme d'un système mécanique macroscopique (celui de la circulation d'eau dans un tuyau pour la description du courant électrique).

Cependant, la méthode des analogies, toute attrayante qu'elle soit, ne peut être utilisée abusivement. Il faut toujours établir clairement ce que l'on veut illustrer et choisir une analogie qui représente et décrit convenablement la situation physique sans chercher à pousser trop loin la représentation. Un système mécanique ou un jeu peut illustrer certains aspects d'une situation physique sans en posséder tous les attributs. Les limites de l'analogie doivent donc être clairement établies, afin que personne ne puisse l'utiliser d'une manière abusive en en tirant des conclusions fausses. C'est pourquoi chaque module doit être accompagné d'un guide pédagogique qui, en plus d'aider l'enseignant dans ses interventions, le rend conscient des limites de l'analogie et l'informe des concepts ou des phénomènes qu'elle ne peut pas illustrer. Il y a là une difficulté,

car lors de l'élaboration d'un module, il faut découvrir toutes les faiblesses de l'analogie utilisée dans ce module et tous les abus que pourrait en faire une personne non avertie.

Si le recours aux analogies constitue le moyen que nous avons privilégié dans la présentation des concepts et principes, il ne suffit pas à lui seul à caractériser la démarche que nous avons utilisée dans l'élaboration de nos modules. En effet, le matériel didactique que nous avons mis au point ne vise pas simplement à communiquer de l'information sous une forme accessible aux élèves, mais également à les guider dans leur apprentissage et à soutenir leur motivation. C'est pourquoi la construction des modules s'appuie également sur une série de principes que l'on peut résumer comme suit:

- il s'agit de placer l'élève dans des situations où il peut réussir et de lui faire prendre conscience qu'il peut maîtriser des notions de plus en plus complexes; . l'expérience du succès favorise la motivation et augmente le rendement de l'élève;

- on s'efforce d'établir des liens constants entre les concepts et principes théoriques qu'il s'agit de comprendre et les opérations que l'élève effectue en soudant. Lorsque la théorie sert à éclairer la pratique, l'élève intègre mieux ce qu'il apprend;

- il convient de miser sur la responsabilité de l'élève face à son apprentissage, en s'adressant directement à lui et en lui fournissant les moyens d'évaluer ses progrès;

- par un questionnement adéquat, on incite l'élève à l'observation et à la réflexion et on l'encourage à ne pas se contenter de notions vagues, diffuses ou superficielles;

- afin de favoriser une meilleure lisibilité, on limite la longueur des textes et on utilise une syntaxe et un vocabulaire simples, sans pour autant priver l'étudiant des explications nécessaires à la compréhension des phénomènes;

- on facilite l'attention et la rétention des élèves en utilisant divers moyens tels que les résumés, les encadrés, la mise en relief des termes importants, etc.

Ces principes ne sauraient être considérés comme définitifs. Ils se préciseront et s'enrichiront d'autres éléments au fur et à mesure de l'élaboration et de la validation de notre matériel.

4.2 Présentation de quelques modules

Tout en étant conscients que l'ordre de présentation des modules pour l'apprentissage de concepts fondamentaux devra correspondre à la séquence d'enseignement des notions de soudage à l'école, le choix des modules produits cette année s'est fait d'une façon "ad hoc" suite aux discussions avec un groupe d'enseignants d'une polyvalente de la région de l'Estrie au cours desquelles ces derniers ont exprimé des besoins particuliers. Les trois modules produits et présentés dans ce rapport sont les suivants: le courant électrique, l'arc électrique, la conductivité thermique.

Ces modules apparaissent en annexe à la fin de ce rapport et doivent être consultés parallèlement à la lecture des discussions présentées dans les sous-sections suivantes.

4.2.1 Module "Le courant électrique"

a) Présentation du module

La comparaison de la circulation des charges électriques dans un fil avec l'écoulement d'un liquide dans un tuyau n'est pas nouvelle. C'est une analogie qui semble naturelle puisqu'on peut associer les notions de tension et de courant électrique à la pression

et au débit du liquide, un peu comme si le courant électrique était un fluide électrique. Cette analogie peut fonctionner autant pour le courant continu que le courant alternatif. Le module fait voir des montages en ce sens et attire l'attention sur tous les aspects comparables, de façon à en dégager le maximum de compréhension des concepts pertinents à ce sujet.

Ce module présenté à l'annexe 3-A veut amener le jeune à comprendre qu'un courant d'eau continu animé par une pompe rotative peut produire un mouvement de rotation continu d'une turbine et qu'un courant d'eau alternatif peut aussi produire un mouvement de rotation continu. Ce point est central dans la description du courant électrique. Il veut également lui faire comprendre le concept de fréquence. De plus, les concepts de voltage et d'ampérage analogues à la pression et au débit sont aussi traités. Tous ces concepts forment les éléments de base pour un étudiant qui veut aborder les techniques de soudage à l'arc électrique.

b) Les limites de l'analogie

Il est bien connu que les électrons libres dans un métal forment un gaz quantique de fermions quasi dégénéré. Il s'ensuit que ces électrons sont animés en permanence d'une agitation de sorte qu'ils possèdent une distribution de vitesse isotrope et homogène. Considérant une section d'un fil, cette section est constamment traversée dans les deux sens par des électrons et si le courant électrique dans le fil est nul, le nombre d'électrons qui traversent la section du fil est le même dans chaque sens. Ainsi, à courant nul les électrons ont une vitesse isotrope. Ils ne possèdent pas de vitesse globale d'écoulement. Lorsque l'on force les électrons à circuler sous l'action d'une tension appliquée aux extrémités du fil, chaque électron acquiert une petite composante de vitesse orientée dans le sens de l'écoulement. L'agitation demeure cependant toujours présente. Une section du fil voit alors plus d'électrons aller dans un

sens que dans l'autre. L'augmentation du courant oriente davantage le déplacement des électrons, mais la vitesse d'écoulement est toujours faible relativement à l'agitation. Il est donc faux de prétendre que les électrons vont plus vite pour un courant plus grand. L'augmentation du courant entraîne un plus grand nombre d'électrons à circuler dans un sens que dans l'autre. Ce point est important, car il ne peut pas être illustré par l'analogie de l'écoulement d'un liquide qui lui, est laminaire. Le débit d'eau dans un tuyau représente l'ampérage d'un courant. Ce débit mesure la quantité d'eau qui circule par unité de temps dans le tuyau et est donné par la vitesse d'écoulement multipliée par la section du tuyau. Pour une même section, un débit plus grand entraîne un écoulement plus rapide. Dans le cas du courant électrique, mesuré en coulomb par seconde, il s'agit du nombre de charges électriques qui traversent une section du fil et ce nombre ne fait pas intervenir le concept de vitesse.

Il n'est également pas possible, par l'analogie de l'écoulement d'un liquide, de décrire le mécanisme responsable de la résistivité électrique ou son inverse la conductivité électrique. Il faut pour cela des particules qui entrent en collision avec d'autres particules, concepts absents dans le liquide pur. On peut toutefois représenter une résistance électrique sous la forme d'un pincement localisé à un endroit sur un tuyau. Ce pincement oppose une résistance à l'écoulement du liquide, produit une chute de pression et donc illustre bien les attributs d'une résistance électrique.

Enfin la propriété d'un courant électrique de produire un champ magnétique autour du fil où circule ce courant est impossible à représenter dans l'analogie de l'écoulement d'un liquide dans un tuyau. On ne peut pas illustrer également le couplage entre un circuit et un autre, tel que cela se produit dans un transformateur ni le concept d'inductance associé à un bobinage. D'autres systèmes mécaniques sont alors nécessaires tels l'oscillation d'une masse ou le couplage mécanique entre deux éléments. Il faut également ne jamais

oublier qu'un courant électrique n'est possible que dans un circuit fermé. L'analogie de l'écoulement d'un liquide doit respecter cette contrainte. Elle ne peut pas présenter l'eau comme si elle tombait dans un récipient quelconque car, dans ce cas, le circuit n'est pas fermé.

4.2.2 Module "L'arc électrique"

Une décharge électrique dans un gaz dont la pression voisine la pression atmosphérique s'appelle un arc électrique. Deux ingrédients essentiels forment donc un arc: le gaz qui est généralement de l'air mais qui peut être aussi de l'argon, de l'hélium ou du gaz carbonique et le courant électrique qui traverse ce gaz. Supposant que l'arc a une symétrie axiale comme c'est approximativement le cas dans un arc stabilisé, deux orientations sont fondamentales à l'intérieur de cet arc; soit la direction longitudinale qui est aussi la direction du courant, direction où se produit un écoulement des gaz électronique, ionique et atomique entretenu par la tension appliquée aux électrodes; soit la direction radiale où se développe une diffusion ambipolaire des particules alimentée par le gradient de température et le manque d'homogénéité entre le centre de l'arc et le gaz à l'extérieur. L'étude de l'arc se divise donc naturellement en deux chapitres selon que l'on examine les phénomènes se produisant dans l'une ou l'autre de ces deux orientations.

Le module "L'arc électrique" s'intéresse à la direction longitudinale et veut amener l'étudiant débutant en soudage à comprendre et à décrire les phénomènes fondamentaux engendrés par l'écoulement des gaz dans cette direction. La décision de construire ce module fut prise lors d'une discussion avec un groupe d'enseignants du secteur hydrothermie. Il s'agissait d'expliquer pourquoi l'anode chauffe plus que la cathode dans un arc. Il devint évident durant cette discussion que le phénomène de l'arc électrique était mal compris par eux et qu'ils n'avaient en fait aucune documentation pouvant répondre à leurs questionnements.

La version actuelle de ce module se trouve à l'annexe 3-8. On y présente beaucoup de concepts nouveaux pour l'élève car, en plus d'une description des phénomènes se déroulant dans l'arc, on a dû discuter de la structure atomique de la matière et de la nature d'un gaz. Ces deux derniers sujets feront éventuellement l'objet de modules qui devront être étudiés avant celui sur l'arc électrique. Il est donc probable que le module "L'arc électrique" soit modifié et quelque peu allégé. Il reste cependant que ce module demeurera assez volumineux à cause du sujet lui-même. En effet, le plasma de l'arc est composé de trois gaz intimement mélangés, les atomes, les ions et les électrons. Décrire un gaz composé de particules d'une seule espèce peut se faire sans trop de difficultés. Mais lorsque ce gaz comprend plusieurs espèces, et qu'en plus, une de ces espèces se présente sous la forme de particules beaucoup plus légères que celles des autres espèces, le niveau de difficulté pour le comprendre s'accroît beaucoup, au point qu'une représentation mécanique sous la forme de petites billes qui se frappent devient presqu'impossible.

Pour surmonter ce problème, un jeu a été imaginé, jeu qui représente les électrons sous la forme de plumes et les atomes et ions par des personnes, les joueurs. Ce jeu veut amener l'élève à comprendre comment les électrons très légers peuvent dominer certains phénomènes dans un arc à cause de leur grand nombre. Bien que ces électrons originent de la cathode par émission thermoionique à sa surface, aucun effort n'a été déployé pour aborder cette question. Il y a un tas de plumes transportées par le vent. De même de nombreux électrons sont transportés par la force électrique vers l'anode. On ne parle pas de thermalisation des gaz électronique et ionique. Les électrons vont en ligne droite, ou presque, comme des plumes qui volent au vent. Le jeu permet de comprendre pourquoi le courant électrique est transporté presqu'uniquement par les électrons. Quant au bilan énergétique aux électrodes, il n'est pas possible par ce jeu de démontrer le fait expérimental que l'anode chauffe plus que la cathode, mais seulement de rendre ce fait plausible. On insiste dans le module sur le fait

que ce sont les particules du plasma qui transportent cette chaleur et la cèdent aux électrodes.

Le module "L'arc électrique" veut amener l'étudiant à pouvoir décrire ce qui se passe dans le petit espace très lumineux entre sa pièce et son électrode et à accepter que c'est le plasma qui chauffe les électrodes; ce qui lui permet en fin de compte de souder sa pièce. Cependant, aucun effort n'a été déployé pour décrire un mécanisme microscopique de chauffage du plasma. Ce mécanisme est trop complexe pour être abordé dans une première approche. Il en est de même pour la relation entre le courant dans l'arc et la tension aux électrodes. Tout ce qu'on espère par ce module, c'est de rendre l'élève conscient de ce qu'il a dans cet arc qu'il manipule à l'atelier et d'éveiller son esprit sur ce sujet.

4.2.3 Module "La conductivité thermique"

La capacité qu'a un matériau de pouvoir transmettre la chaleur s'appelle la conductivité thermique, une propriété qui varie beaucoup d'un matériau à l'autre. Cette propriété s'apparente de près à une autre, la conductivité électrique. Un bon conducteur d'électricité tel un métal est aussi un bon conducteur de chaleur alors qu'un isolant électrique conduit faiblement la chaleur. La raison fondamentale de cette différence vient du fait que la chaleur peut se propager de deux façons à l'intérieur d'un matériau, soit à l'aide des électrons libres comme il s'en trouve dans un métal, soit par l'intermédiaire des vibrations du réseau cristallin appelées les phonons; alors que la capacité de conduire l'électricité nécessite la présence d'électrons libres dans le matériau. La nature n'est cependant pas aussi simple puisqu'il existe des matériaux semi-conducteurs, éléments de base de l'électronique moderne. Toutefois, pour l'étude de la conductivité thermique, on peut ranger les matériaux en deux catégories: une substance sera un bon conducteur si elle possède des électrons libres et un conducteur médiocre si elle n'en a pas.

Le module "La conductivité thermique" veut illustrer comment deux modes de conduction de la chaleur peuvent opérer dans une substance. Bien qu'il soit possible de comparer le transfert de chaleur dans un matériau à l'écoulement d'un fluide, une autre analogie est utilisée afin de bien représenter les deux modes de transmission de la chaleur et de mettre en évidence leur grande différence d'efficacité. L'annexe 3-C contient ce module. On y trouve une analogie à un jeu dont les acteurs sont des étudiants. Il faut transmettre des messages écrits sur de petits papiers d'une boite à une autre. Les étudiants, alignés entre les deux boîtes, doivent transmettre les messages un à un d'un étudiant au suivant. C'est la conductivité par phonons. Le processus est lent car plusieurs étudiants lisent les messages retardant ainsi l'opération. La seconde méthode consiste à coller les papiers sur les balles de baseball et à lancer les balles à l'autre extrémité de la rangée d'étudiants. C'est la conductivité par les électrons. Les balles représentent les électrons libres qui assurent la transmission des messages rapidement. Le jeu illustre donc les deux processus fondamentaux responsables de la conductivité thermique. On espère ainsi que ce module fera cheminer l'élève de manière à comprendre comment une substance peut transmettre la chaleur et pourquoi les métaux conduisent beaucoup plus aisément la chaleur que les non-métaux. Il ne pourra cependant l'initier à la notion de gradient de température présent à l'intérieur d'une substance où se produit de la conduction de chaleur. Il ne verra pas non plus comment la forme d'un objet à savoir un objet long, plat ou volumineux, peut affecter ce phénomène.

4.3 Liste des modules à construire

Les techniques de soudage étant très diversifiées, il apparait que l'apprentissage de ces techniques nécessite des connaissances très diverses de notions de sciences physiques de base. Bien qu'il soit plutôt difficile de dresser la liste de ces notions sans une analyse détaillée du programme d'étude des élèves de ce secteur, il est

possible de s'en faire une idée approximative par l'examen du programme d'étude et par des discussions avec les professeurs du champ hydrothermie. Nous présentons ci-dessous une liste probable de titres de modules qu'il faudra construire et, éventuellement, rendre disponibles aux élèves de ce secteur.

4.3.1 Modules pour le secondaire quatre*

Le premier contact avec les techniques de soudage se produit en quatrième secondaire, secteur professionnel. Les élèves doivent d'abord apprendre à maîtriser la flamme d'une torche à l'acétylène et à manipuler correctement les bonbonnes de gaz alimentant cette flamme. C'est la période de l'apprentissage élémentaire du soudage avec une flamme et de l'oxycoupage. Parallèlement, ils doivent s'initier au soudage à l'arc électrique.

Si l'on veut que les notions de sciences de base qu'on leur propose attirent leur attention, il faut que ces notions traitent de sujets liés à leurs besoins immédiats et les aident à mieux maîtriser les techniques associées à ce premier apprentissage.

On peut alors établir une liste de concepts et les regrouper en modules. Voici la liste préliminaire des modules que nous croyons nécessaires de construire pour ces élèves.

a) <u>La nature atomique de la matière</u>

Ce module devra rendre l'étudiant capable d'imaginer comment la matière qui nous entoure est constituée de petites particules et que ces particules sont composées de noyaux entourés d'électrons qui gravitent autour de ces noyaux. C'est un premier contact avec la

---

* NOTE: Ces modules ont été identifiés en tenant compte du programme et du régime pédagogique actuellement en vigueur. Il va sans dire que des ajustements devront être apportés en fonction des nouveaux cheminements de formation professionnelle prévus pour 86-87.

théorie atomique de la matière, théorie essentielle à la compréhension de la plupart des phénomènes macroscopiques qui nous entourent.

b) La nature des gaz

Les différentes substances qui composent notre univers peuvent exister sous trois formes: l'état solide, l'état liquide et l'état gazeux. Aux conditions ambiantes de température et de pression, plusieurs de ces substances se présentent sous l'état gazeux. Malgré sa faible densité, un récipient rempli d'un gaz quelconque contient un très grand nombre d'atomes ou de molécules selon le cas. Cette matière, souvent invisible, inodore et incolore, comme l'air, est une réalité dont on doit rendre l'élève conscient et capable d'imaginer. Le module devra trouver le moyen d'atteindre cet objectif et faire comprendre à cet élève comment un gaz se comporte selon les conditions de température et de pression ressenties par ce gaz. Il pourra également aborder les principes qui entrent en jeu pour le fonctionnement des jauges à pression.

c) Les réactions de combustion

Dès le début de son apprentissage, l'étudiant fait face au phénomène de la combustion de l'acétylène avec l'oxygène. Il voit une flamme et apprend à la décrire. Comme la chaleur n'est pas répartie uniformément dans cette flamme, il doit donc connaître cette réalité afin de s'en servir efficacement. Ce module devra se préoccuper de cette question et amener l'étudiant à comprendre comment les molécules d'un mélange gazeux peuvent se restructurer dans une combustion et donner lieu à un dégagement important de chaleur.

d) La nature des métaux

On sait que le travail du soudeur consiste à souder des métaux. Ces métaux possèdent diverses propriétés dont plusieurs découlent de la nature métallique, c'est-à-dire de la présence constante

d'électrons libres qui s'agitent à travers les ions presque fixes. Il convient donc de permettre à l'étudiant de pouvoir cheminer de telle sorte qu'il puisse imaginer en quoi un métal diffère d'un non-métal. Il sera alors davantage préparé à aborder et à comprendre les propriétés spécifiques des métaux.

e) Le courant électrique

Le soudage à l'arc électrique, une technique très répandue, peut se réaliser en courant continu et en courant alternatif. L'élève qui doit s'initier à cette technique ne peut travailler d'une façon éclairée s'il ne possède aucune notion se rapportant aux divers courants et s'il ne peut voir en quoi diffèrent les deux types de courant électrique. Le module "Le courant électrique" devient donc un élément de base nécessaire pour l'apprentissage de ces techniques. (Ce module est présenté à l'annexe 3-A de ce rapport).

f) Sources électriques pour le soudeur

Les concepts reliés au courant électrique sont trop nombreux pour s'inclure dans un seul module. L'élève doit en effet devenir conscient des divers types de sources de courant électrique disponibles pour le soudage, capable d'imaginer correctement la fonction d'un redresseur de courant et de comprendre la fonction d'une résistance électrique. Ce module devra remplir cette fonction et contribuer ainsi à rendre l'élève plus familier avec l'appareillage qu'il utilise constamment.

g) L'arc électrique

La technique du soudage à l'arc électrique permet la réalisation de soudures très diverses de nombreux matériaux. L'arc dégage une grande chaleur dont l'origine vient de l'interaction entre le courant électrique qui le traverse avec le gaz qui s'y trouve. L'étudiant doit apprendre à manipuler l'arc et à le maîtriser autant que

possible. Il ne peut pas réaliser cela sans en avoir une connaissance convenable. Ce module tente d'amener l'élève à pouvoir imaginer ce qui s'y passe et à comprendre les principaux phénomènes qui se déroulent dans l'arc. (On peut lire ce module à l'annexe 3-B de ce rapport).

h) Les réactions d'oxydation

Un métal très chaud s'oxyde en présence de l'air. Les molécules d'oxygène de l'air réagissent avec les atomes du métal pour former de nouvelles molécules, les oxydes métalliques. Dans plusieurs techniques de soudage, c'est un phénomène néfaste que l'on cherche à éviter. Par contre, dans le coupage à l'oxygène, on provoque et on favorise le phénomène en vue de sectionner une pièce. Les réactions d'oxydation sont donc d'une grande importance pour le soudeur. L'élève aborde cette réalité dès la première année d'apprentissage de son métier. Ce module devra rendre l'élève capable de comprendre comment une molécule d'oxygène peut s'associer à un atome d'un métal et pourquoi, à haute température, le phénomène se produit rapidement.

i) Les acides et les bases

Plusieurs réactions chimiques se produisent entre les matériaux constituant l'enrobage de l'électrode et le métal chaud durant l'exécution d'une soudure. Les agents chimiques qui composent les enrobages engendrent des phénomènes que le soudeur doit connaître de façon à choisir l'électrode qui convient le mieux pour un travail particulier. Ce module devra compléter le module précédent afin que l'élève puisse acquérir les notions de chimie de base nécessaires à la poursuite de son apprentissage. Ces connaissances le rendront plus apte à comprendre la description des nouveaux matériaux et à les utiliser correctement.

j) La conductivité électrique

Ce module devra expliquer pourquoi un métal peut conduire l'électricité et illustrer par une analogie le mécanisme qui engendre la résistivité électrique. Ce sont des concepts importants car, dans le soudage à l'arc électrique, la pièce joue le rôle d'électrode et devient donc une résistance dans le circuit. Sa valeur varie selon le matériau et les dimensions de la pièce. Devenu conscient de cette réalité, l'élève pourra prévoir ses effets et y apporter les correctifs nécessaires.

k) La conductivité thermique

La conductivité thermique d'un matériau est une propriété physique très importante de soudage. En effet, le métal chauffé localement dissipe cette chaleur à un taux qui dépend de la valeur de sa conductivité thermique et de ses dimensions à savoir, un objet mince ou épais. C'est un concept intimement lié au concept de conductivité électrique et qui, dans les métaux, s'explique de façon semblable. Le module devra faire ce rapprochement et expliquer pourquoi un isolant électrique peut quand même conduire faiblement la chaleur. (Ce module est présenté à l'annexe 3-C de ce rapport).

l) La dilatation thermique

Tout soudeur doit apprendre durant ses études comment opérer de façon à minimiser le phénomène de la dilatation thermique et du retrait lors du refroidissement d'un objet métallique. Le changement de la température d'une pièce de métal provoque une modification de ses dimensions ce qui engendre des déformations surtout lorsque le changement de température n'est pas uniforme. Le soudeur compétent doit donc maitriser ce phénomène et éliminer autant que possible ses effets néfastes sur les pièces qu'il assemble. Le module "La dilata-

tion thermique" tentera de rendre l'étudiant capable d'imaginer comment et pourquoi ce phénomène se produit au niveau microscopique.

m) Forces et machines simples

La notion de force est une des plus fondamentales des sciences physiques. Ce concept, à la base de la mécanique, apparaît également au niveau microscopique entre les atomes assurant la cohésion interne des solides. Des forces se développent également à l'intérieur des matériaux sous l'effet de la dilatation et du retrait thermique et peuvent produire des fissures, phénomènes que l'on retrouve constamment en soudage.

Ce module aura pour objet de développer chez l'élève une connaissance élémentaire du concept de force et de lui apprendre comment plusieurs forces peuvent se combiner de manière à produire un effet de tension, de compression ou de torsion. Comme le soudeur emploie dans son travail divers outils pour soulever ou déplacer des pièces lourdes, ce module utilisera les exemples simples des leviers et des palans pour illustrer comment se composent les forces et aussi pour attirer son attention et son intérêt sur ces notions.

n) La tension superficielle et la capillarité

Dans le brasage, le métal d'apport diffuse sous l'effet de la capillarité dans les interstices entre les surfaces à souder et se solidifie ensuite pour assurer la liaison de ces surfaces. La tension superficielle du métal d'apport fondu entre en jeu dans ce phénomène. Les forces d'attraction entre les atomes du liquide et ceux du solide s'exercent et engendrent le mouillage du solide par le liquide. Selon la mouillabilité des substances, la capillarité varie. Le soudeur qui exécute une brasure doit connaître ces phénomènes afin d'en évaluer les effets sur la qualité de son travail.

L'objectif de ce module sera d'induire chez l'élève une connaissance appropriée de ces phénomènes en s'appuyant sur les notions acquises dans le module précédent. Il pourra ainsi approfondir la notion de force et apprendre comment un liquide et un solide peuvent interagir pour engendrer un effet qu'il utilise souvent dans son métier.

o) Déformations des pièces

Possédant les notions de dilatation thermique et le concept de force, l'élève peut aborder le problème plus complexe de la déformation des pièces sous l'effet du retrait thermique. Ce module devra apporter des illustrations appropriées afin que l'élève puisse comprendre comment ces déformations se produisent.

4.3.2 Autres modules

a) Le secondaire cinq

Ayant déjà acquis en quatrième secondaire les éléments de base de son apprentissage, l'étudiant entreprend en cinquième année des études plus spécialisées qui lui permettent d'approfondir ses connaissances et de devenir progressivement un professionnel du soudage. En plus de s'initier à des techniques plus avancées, il aborde le champ important de la métallurgie et de la soudabilité des matériaux. Un apprentissage élémentaire de cette science s'impose puisque le soudeur induit continuellement dans son travail des phénomènes métallurgiques entre divers matériaux. Il doit souvent mesurer le degré de soudabilité de différents alliages et choisir le matériel approprié à un travail particulier.

Les pages précédentes ont permis de dégager un ensemble de connaissances nécessaires pour une première année d'étude dans le champ hydrothermie et de les regrouper en modules. Aucun effort n'a

été fait en ce sens pour la seconde année. On peut cependant croire que plusieurs modules d'initiation en métallurgie seront nécessaires. Il s'agira d'explorer les notions reliées aux phénomènes de la fusion et de la solidification des métaux, de la diffusion métal-métal et d'étudier quelques diagrammes de phase d'alliages courants. Le concept de la structure cristalline et polycristalline devra être abordé également. En plus de ces notions, plusieurs modules orientés vers les phénomènes de base reliés aux techniques s'imposeront. Citons, par exemple, le concept de champ magnétique et l'effet du soufflage magnétique induit par ce champ. Il faudra aussi traiter de notions associées aux circuits électriques telles que les concepts d'inductance et de capacité ainsi que la notion de phase entre le courant et le voltage donnant lieu au facteur de puissance. Enfin, l'étude de plusieurs propriétés mécaniques des métaux sera nécessaire. Citons les concepts de ductilité, de fragilité, de dureté et de rupture des métaux. Il est possible également qu'on doive discuter encore de l'arc électrique et décrire le fonctionnement de base d'un jet de plasma.

b) Techniques avancées

Les connaissances spécialisées plus avancées pour l'exécution et le contrôle de qualité des soudures peuvent être acquises après l'apprentissage normal des techniques de base des quatrième et cinquième années du secondaire professionnel. Des cours sont offerts dans certaines écoles lorsque le nombre d'étudiants le justifie afin de perfectionner des jeunes en soudage et leur permettre de s'initier aux techniques avancées. Dans l'hypothèse ou il faudrait développer du matériel didactique lié à cet enseignement, ce matériel prendrait une forme qui ne serait pas nécessairement celle de modules. Toutefois, quelle qu'en soit la présentation, ce matériel devrait traiter de nombreuses connaissances de base reliées à ces techniques avancées, connaissances touchant à plusieurs domaines de la physique. Les domaines identifiables sont:

- les techniques électro-mécaniques utilisées pour le soudage par friction et par résistance électrique;
- les plasmas pour le soudage au plasma et le coupage par jet de plasma;
- les ondes sonores pour le soudage et surtout l'analyse de la qualité des soudures;
- les radiations pour l'étude de la qualité des soudures;
- l'optique laser utilisée pour le soudage et le coupage;
- les techniques du vide et les faisceaux d'électrons.

Ces domaines de haute technologie sont exploités dans les industries de pointe pour la fabrication d'objets de grande performance.

Conclusion

Tous les sujets énoncés dans les listes de modules précédentes serviront non seulement à appuyer un apprentissage adéquat des notions de base relatives aux techniques actuelles, mais seront susceptibles de mieux préparer les élèves à affronter les nouveautés technologiques du milieu industriel.

Il sera, de plus, essentiel de vérifier l'utilité des concepts proposés et de finaliser la conception des modules par des validations poussées, ce qui est d'ailleurs l'objet du prochain chapitre.

Chapitre 5

Validation préliminaire du matériel didactique

Suite à l'élaboration des trois premiers modules d'apprentissage, les enseignants ont consenti à ce que nous procédions à la mise à l'essai d'un de ces modules auprès de leurs élèves. Bien entendu, il ne s'agissait là que d'une validation préliminaire.

Les prochains paragraphes présenteront les modalités de validation, les observations recueillies pendant celle-ci, les résultats de deux questionnaires d'évaluation: soit un portant sur la compréhension des concepts et l'autre sur l'appréciation du module par les élèves et enfin, une analyse générale de cette expérience qui nous permet de tirer des conclusions préliminaires.

5.1 Modalités de validation

Comme nous l'avons déjà précisé, les modules s'adressent personnellement aux jeunes et sont élaborés de façon à aller des notions les plus simples vers les plus complexes; ils peuvent ainsi être utilisés comme modules d'auto-apprentissage. De plus, chaque module comprend une présentation générale du sujet, des explications détaillées en rapport avec le principe étudié, des résumés, des questions synthèses et des conclusions à tirer; toutes ces mesures permettent une démarche d'apprentissage individuelle de la part de l'élève.

En fait, notre but n'était pas de rendre inutile l'intervention du professeur lors de la validation mais tout simplement d'observer, dans un premier temps, la valeur intrinsèque du matériel didactique et sa capacité d'induire des apprentissages, indépendamment des interventions de l'enseignant.

Au moment de la mise à l'essai de notre matériel, nous avons donc tout simplement distribué le module (plus précisément celui traitant du courant électrique) aux élèves de deux classes de professionnel long (une en secondaire IV et une en secondaire V) dans lesquelles nous avions déjà procédé à des observations.

Puis, nous avons donné comme seules directives les consignes suivantes:

1. l'élève doit lire le module et essayer de le comprendre par lui-même;
2. il peut demander des explications aux observateurs en ce qui a trait à la formulation et non au contenu;
3. l'élève doit répondre à un test après la lecture du module sans avoir le droit de consulter le document.

Le libre cheminement de l'élève était donc assuré. Aucune explication supplémentaire n'a été donnée soit par le professeur, soit par les chercheurs présents en classe.

5.2 Observations recueillies

Les étudiants, même en sachant que cet exercice ne comptait pas dans leur évaluation, ont démontré un intérêt évident et quelque peu surprenant. En effet, on a déjà parlé dans un chapitre précédent du manque de motivation et du désintéressement général qui "gruge" une bonne partie de ces élèves. Le silence et la concentration ont donc été de mise durant cette lecture. Seulement quelques signes d'impatience ont été recueilli· par deux ou trois élèves de la classe de secondaire IV, ceux-ci étant moins habitués à des lectures d'une certaine longueur. La vitesse de lecture a également montré certaines faiblesses dans cette même classe (environ dix minutes de plus en moyenne).

Les seules interrogations soulevées par les élèves durant la séance ont touché la formulation de certaines questions du test. Nous faisons allusion plus particulièrement aux questions traitant de polarité. En effet, la signification réelle de polarité (positive ou négative) est entrée en conflit avec la convention populaire du milieu du soudage (polarité normale ou inversée).

5.3 Présentation des résultats

5.3.1 Test de compréhension

Malgré les nombreuses perceptions négatives enregistrées de la part des professeurs à l'endroit de leurs élèves (faiblesse générale, manque de motivation, désintéressement, problèmes psycho-sociaux), ceux-ci ont démontré de bonnes performances. Non seulement l'intérêt a été observé et confirmé par le sondage d'appréciation, mais tous les élèves ont terminé le module et le test pendant la période allouée (75 minutes du cours). Les résultats, nettement plus positifs dans la classe de PL5 (moyenne de 80%), ont quand même été encourageants dans la classe de PL4 (moyenne de 65%).

Par les résultats et les commentaires formulés après la séance, nous avons noté une amélioration de la compréhension de certains concepts dans le sens d'une meilleure idée générale, d'une meilleure visualisation de ce qui se passe. Nous avons observé, comme difficulté majeure, des lacunes dans l'expression par écrit pour les questions ou l'élève devait lui-même formuler ses réponses. En effet, plusieurs étudiants semblent comprendre puisqu'ils utilisent des termes qui évoquent le phénomène à expliquer sans toutefois fournir avec précision les explications demandées. Par exemple, les questions demandant des associations de mots ou tout simplement des réponses brèves (75%) ont été réussies dans une proportion de 70% et les questions demandant des explications dans les propres mots des élèves (25%) ont été réussies dans une proportion de 50%. Ce dernier résultat indique cependant les réponses parfaites. L'autre 50% a présenté

des réponses montrant des signes évidents d'une certaine compréhension mais une difficulté de trouver les mots exacts ou la tournure de phrase adéquate. Ces résultats ne sont pas surprenants vu que l'on demande rarement aux élèves de formuler leurs réponses par écrit. À notre avis, ces difficultés s'expliquent en partie par un manque d'entrainement.

Les résultats plus précis de certaines questions en particulier, qui nous ont amené à planifier certains correctifs et à mieux comprendre le niveau de communication idéal, seront traités dans la dernière partie de ce chapitre (analyse).

5.3.2 Sondage d'appréciation

Enfin, un sondage d'appréciation a été distribué à la suite du test de compréhension et les résultats sont certes fort encourageants.

En effet, à la question qui demandait: *"Comment as-tu apprécié la lecture de ce module?"* et qui offrait comme choix de réponses très intéressant, moyennement intéressant et peu intéressant; 9 élèves sur 19 ont répondu *"très intéressant"*, 9 autres ont répondu *"mouennement intéressant"* et 1 seul élève a répondu "peu *intéressant"*.

Puis, à la question: *"Qu'est-ce qui t'a le plus aidé à comprendre dans ce module"?*; 12 élèves sur 19 ont répondu *"Les schémas ou dessins comparatifs"*. Les autres élèves ont précisé certains points du module qu'ils ont mieux compris. Par exemple, un élève a cité *"la compréhension du courant alternatif"*.

À la question: *"Qu'est-ce qui t'a le moins aidé à comprendre dans ce module?"*; 6 élèves sur 19 ont parlé de *"La complexité et de la longueur du texte"*. Nous reparlerons de ce

point dans l'analyse. 9 élèves ont répondu "*rien*" et les autres ont souligné des points du module qu'ils avaient moins bien compris. Par exemple, un élève a cité "*la fréquence*".

À la question "*As-tu une meilleure idée de ce qu'est un courant électrique?*"; 18 élèves sur 19 ont répondu "*oui*".

À la question "*Aimerais-tu avoir des modules du même genre pour d'autres sujets en rapport avec ton cours de soudage?*"; 17 élèves sur 19 ont répondu "*oui*".

Et, finalement, à notre grande surprise, 4 élèves sur 19 se sont donnés la peine de répondre à la dernière question "autres commentaires?" avec des appréciations telles que:"*c'était très intéressant*", "*les questions-sunthèse nous poussent à nous concentrer*" "*c'est assez facile à comprendre*", "*ce serait intéressant pour d'autres sujets que le courant car on l'a déjà vu*".

5.4 Analyse des résultats

Cette validation préliminaire nous a permis d'analyser plusieurs facteurs touchant le module mis à l'essai.

Tout d'abord, il nous a confirmé la possibilité de faire apprendre à des jeunes certains concepts scientifiques de base importants dans leur métier. Il a brisé ce préjugé populaire installé dans le milieu qui dit que les élèves en soudage ne sont pas capables de penser scientifiquement mais seulement habiles à exécuter des travaux manuels.

Il nous a ensuite permis de planifier les premiers correctifs à envisager dans l'élaboration de nos modules d'apprentissage.

5.4.1 Selon le contenu

En premier lieu, pour ce qui a trait au "fond" ou plus particulièrement les notions expliquées; on a vu qu'il faudra porter une attention aux termes utilisés qui parfois amènent des confusions. Par exemple, le sens réel du mot polarité (positive et négative) qui peut entrer en conflit avec la convention utilisée dans les milieux du soudage soit polarité normale et inversée. Il s'agit de bien préciser la signification des deux expressions.

De plus, on a constaté que les questions traitant des termes sur lesquels on n'avait pas insisté dans les explications ont donné de moins bons résultats ce qui est compréhensible, étant donné le fait que les élèves n'ont lu le module qu'une seule fois. Cependant, cela confirme la grande importance de mettre certains mots en plus gros caractère ou de placer certaines explications dans des encadrements. Ces mesures en facilitent l'assimilation.

5.4.2 Selon la présentation

En deuxième lieu, et c'est un point majeur, le côté "forme" ou plus précisément la présentation du module a eu beaucoup de succès. L'analyse des résultats, l'observation des élèves pendant la mise à l'essai et les discussions engendrées après la séance nous ont permis de faire les constatations suivántes.

Les schémas et dessins présentés ont eu comme avantage de faire visualiser concrètement certains phénomènes; ce que les élèves n'avaient pratiquement jamais vu dans leurs notes précédentes. Également, ces schémas "aéraient" le texte; ce qui faisait oublier la monotonie d'une lecture textuelle continue. Les dessins animés ont encore prouvé leur attrait en présentant de façon plus légère des notions par rapport à la quantité énorme de recueils techniques qu'ils reçoivent durant leurs cours.

Le côté "lecture textuelle" était également avantagé par les variations de caractère, les mots soulignés, les encadrements, les changements de paragraphe et les questions-synthèses séparant les sections importantes.

Pour ce qui est du nombre de pages ou de la longueur du texte, la classe de PL4 ayant montré certains signes d'impatience; nous avons envisagé la possibilité de séparer le module du courant électrique en sous-sections facilement attachables. Par exemple, ce module pourrait être divisé en deux sous-modules soit: "Notions préliminaires d'électricité" (l'électricité, le voltage, l'ampérage) et "Différence entre courant continu et courant alternatif" (le circuit en courant cc, le circuit en courant ca, la fréquence). Cependant, cette possibilité en est une parmi plusieurs autres qui devront être réévaluées dans une validation beaucoup plus poussée.

5.5 Conclusion

Voilà donc en résumé les premières constatations provenant de cette mise à l'essai de notre module d'apprentissage sur le courant électrique. Bien que cette validation n'ait été que préliminaire, elle nous a apporté une importante richesse d'observations, de commentaires et de constatations.

La voie est donc ouverte. Il est possible de provoquer un intérêt sur les concepts scientifiques de base en soudage par des modules d'apprentissage adéquats. Plusieurs éléments restent à confirmer dans une phase de validation beaucoup plus systématique et cet objectif fera partie d'une des principales tâches à planifier.

Conclusion

La réalisation des objectifs de notre recherche impliquait différentes démarches dont les résultats ont été présentés dans les chapitres précédents.

Dans une première phase, il s'agissait de procéder à un inventaire du matériel didactique existant. Ce travail nous a permis d'examiner, dans les différents documents didactiques consultés, s'il y avait réellement présentation et explication des concepts scientifiques fondamentaux relatifs au soudage. Nous avons non seulement constaté que cette compréhension des phénomènes scientifiques n'était pas valorisée dans la formation antérieure des jeunes et dans le programme actuel mais encore, n'était pas favorisée par les outils pédagogiques fournis aux enseignants. Nous avons par contre noté un changement d'orientation dans les nouveaux programmes qui proposent des contenus beaucoup plus axés sur la compréhension des concepts.

Cette première phase nous a également permis d'inventorier et d'analyser une bonne partie du matériel didactique traitant du soudage. Nous avons relevé un nombre considérable de documents traitant de notions diverses et probablement pertinentes mais ne présentant pas, pour la grande majorité, d'explications et de visualisations des phénomènes de base relatifs aux techniques de soudage.

Parallèlement à cet inventaire, nous avons procédé à l'observation des élèves en situation d'apprentissage. Après avoir tenté de minimiser les réticences initiales des enseignants, les principaux comportements des élèves, face aux différentes tâches qui leur sont demandées, ont été notés et analysés. Divers facteurs facilitant leur apprentissage furent identifiés en plus de ceux qui pouvaient limiter cet apprentissage. Une certaine vision pessimiste pourrait émerger de toutes ces observations. En effet, le contexte scolaire laisse place

à des connaissances théoriques plus factuelles que conceptuelles et à des travaux pratiques plus répétitifs qu'imaginatifs.

Par contre, certaines étapes d'observation ont semblé plus positives tels les résultats d'une évaluation des connaissances des élèves et certaines discussions informelles. Quoi qu'il en soit, les nombreuses implications pratiques dégagées de cette phase d'observation ont servi de principes directeurs dans l'élaboration du matériel didactique.

La troisième phase de notre recherche a été consacrée à la réalisation de l'objectif central du projet à savoir, la conception et la mise au point de matériel didactique s'adressant aux élèves en soudage. Il fallait également rédiger une première version des guides pédagogiques s'adressant aux enseignants. Le but visé dans cette conception de matériel était d'assurer l'apprentissage de concepts scientifiques fondamentaux à des élèves n'ayant aucun prérequis dans ce domaine. Trois modules accompagnés de leurs guides ont été complétés et présentés dans leur première version. Ces modules ont été construits de façon à assurer un auto-apprentissage pour ainsi permettre une démarche individuelle de la part de l'élève. Enfin, l'importance d'entretenir la relation entre le concept étudié et la technique s'y rattachant a été favorisée.

Dans une dernière étape, le matériel produit fut soumis à une validation préliminaire. La mise à l'essai du module traitant du courant électrique a permis de dégager les forces et faiblesses de ce matériel. Le point positif majeur a été l'intérêt exprimé par les élèves face à notre module d'apprentissage. Cette validation nous a également permis d'identifier certains correctifs qui devront être apportés à ce module.

N'ayant été qu'une validation sommaire, cette opération devra nécessairement être reprise d'une façon plus élaborée et à plus grande échelle. Plusieurs contacts sont déjà assurés pour étendre nos expériences à d'autres institutions scolaires de la Province. De plus, il est certain que l'intégration des modules d'apprentissage dans la séquence régulière d'enseignement permettra une meilleure planification et, probablement, des performances plus élevées de la part des élèves.

En somme, un travail important reste à faire. Les méthodes de soudage utilisent de nombreuses techniques qui, pour être assimilées, font appel, à leur tour, à un grand nombre de concepts de base. Tous ces concepts forment la charpente de l'édifice de connaissances nécessaires à un apprentissage harmonieux du soudeur, tout en le rendant apte à poursuivre son perfectionnement et son évolution face au développement technologique constant intervenant dans son métier. C'est pourquoi de nombreux modules devront être élaborés ainsi que les guides pédagogiques associés à ceux-ci de façon à permettre aux enseignants une utilisation efficace de ce matériel.

Le perfectionnement d'outils d'évaluation fera l'objet de préoccupations particulières, puisque ceux-ci permettent d'évaluer la progression des élèves en apprentissage et de mesurer leur degré de compréhension. Des initiatives seront entreprises en vue d'étudier la possibilité d'une intégration des autres matières, telles le français et les mathématiques, dans le processus d'apprentissage des notions de base. Sans préjuger des résultats de notre démarche, il est permis d'espérer de nombreux résultats positifs, contribuant ainsi à une revalorisation du métier de soudeur en particulier et des métiers en général.

Annexe 1

Matériel didactique

Nous présentons dans cet annexe un inventaire et une analyse sommaire du matériel didactique offert dans les milieux de l'enseignement du soudage. Sans être complet, cet inventaire donne une idée assez représentative des ouvrages relatifs au soudage. Une cote a été attribuée à chaque ouvrage inventorié pour faire ressortir les caractéristiques dominantes du contenu. Ces cotes ne sont fournies qu'à titre indicatif.

Annexe I
Matériel didactique

Signification des cotes

Cotes 1. Contenus présentant des explications et visualisations simples des concepts scientifiques de base en soudage.

2. Contenus présentant des explications générales, des résumés de principes, des notions essentielles touchant les techniques utilisées.

3. Contenus présentant des explications très développées, d'un niveau très avancé (calculs, engineering, développements théoriques, notions complexes, etc...),...

4. Contenus du type descriptifs présentant des informations, recueils techniques sur les principes, méthodes, équipements règles de sécurité; comprend aussi aide-mémoires,...

5. Contenus relatifs à des produits précis (ex.: catalogues)

6. Contenus d'exercices pratiques, démonstrations; applications précises (exemples),...

7. Contenus spécialisés, techniques avancées, haute technologie,...

Note importante: Il est bien évident que plusieurs manuels ou films présentent des contenus relatifs à plusieurs cotes; ainsi, les cotes inscrites indiqueront le ou les trait(s) dominant(s) ressortant de l'ouvrage.

Manuels

Section - soudage

1. Althouse modern welding. Goodheart-Wellcox Co. Inc.	-
2. Arc welding I and II. Hobart welding school.	2,3
3. Assemblages soudés recommandés pour tuyauteries. Gerbeaux, P.S.A., 1964.	6
4. Barême de soudage autogène oxyacétylénique. I.S.P., 1975.	4
5. Basic arc welding. Delmar Publishing Inc., C.W.S.	-
6. Basic TIG Welding. Griffin-Roden. Hobart.	3
7. Catalogues de distributeurs de produits de soudage.	5
8. Certification manual for welding inspectors. Hobart.	4
9. Consider a career in welding. Hobart.	4
10. Cours de métallurgie appliquée au soudage. Castolin, Eurocentre, 1966.	3
11. Consignes d'utilisation des postes de chauffage, soudage, coupage et oxy-gaz.	4
12. Dessins de pièces soudées, Collège d'extension Cartier.	4
13. Devenez un bon soudeur. Eyrolles.	4
14. Dispositions recommandées d'assemblages soudées à l'arc pour appareils en acier plaqué. Gerbeaux, P.S.A., 1969.	6
15. Dispositions soudées recommandées pour fixation d'organes connexes sur les récipients à pression. P.S.A., 1976.	6
16. La fatique des assemblages soudés. Granjon-Newman.	3
17. La formation du joint brasé. Sidokhine-Dolyov, 1977.	3
18. Griffin roder pipe welding techniques. Delmar-Pull.	6
19. Guide d'apprentissage en soudage oxyacétylénique. Leroux-Gingras Guérin, 1980.	2,6
20. Guide de l'utilisateur du soudage manuel. S.A.F., 1978.	3

21. Guide de l'utilisation des procédés de soudage sous atmosphère neutre (TIG), Nertal. S.A.F., 1976. 3

22. Guide du soudage semi-automatique et automatique: Nertalic, Mig-Mag, Safdual, Safini. S.A.F., 1976. 3

23. Guide du soudage tomes 1 à 5. S.M.S., 1964-1971. 3

24. Guide technique du rechargement manuel. S.A.F., 1970. 3

25. L'hydrogène dans les aciers et les joints soudés. A. et C. Million, 1972. 3,6

26. Introduction au soudage. J. Lapointe, EdiCompo, 1983. 2,3

27. Je fais tout moi-même: la soudure. Marabout Flash. 4

28. Jefferson metals and how to weld them. James F. Lincoln Arc welding foundation. 4,5

29. Jefferson's gas welding manual. Jefferson, Hobart. 4

30. Joints soudés: contrôle, métallurgie, résistance. A. Vallini, 1968. 3

31. Leçons de soudage oxyacétylénique et à l'arc. Weldco. 4,6

32. Lexique du soudage, E.O.O. 4

33. Manuel pour l'examen par ultrason des soudures. I.I.S. 3,7

34. Manuel pratique de soudage à l'arc. Mendel, 1976. 2,3

35. Modern arc welding. Hobart. 2,4

36. Modern welding technology. Hobart. 2.4

37. Nomenclature des termes utilisés dans le contrôle par ultrasons. P.S.A., 1967. 4,7

38. Oxyacetylen handbook. Linde, Hobart. 4

39. Pipe welding. Hobart. 6

40. Pocket welding guide. Hobart. 4

41. Précis de soudage à l'arc des aciers inoxydables et réfractaires. S.A.F., 1975. 3,4,6

42. Précis de soudage-brasage. Roger Le Gouic, 1978. 2

43. Prévisions et compensations des déformations dûes au retrait en soudage électrique à l'arc. Gerbeaux, 1968. 3

44. The Procedure handbook of arc welding. Lincoln Electric Co. 1973. 3,4

45. Radiographies des soudures. I.I.S., 1978. 3,7

46. Rechargement dur par soudage. Riddihough, Dunod. 3,4

47. Recueil terminologique multilingue du soudage. 4

48. Safety in welding and cutting. Hobart. 4

49. Sécurité de l'emploi des chalumeaux soudeurs et coupeurs. P.S.A., 1975. 4

50. Le soudage. Chapelier. Presses universitaires de France. -

51. Le soudage. Gerbeaux, P.S.A., 1974. 3

52. Le soudage. J. Pender. McGraw-Hill, 1977. 2,4

53. Le soudage. R. Varisellaz, 1982. -

54. Le soudage à l'arc électrique. Gratton et Lanouette, S.G.M.E. 1966. 2,4,6

55. Le soudage au gaz et coupage thermique. Mendel, Bordas, 1976. 2,4

56. Le soudage de l'aluminium par les procédés Mig-Tig. Alcan (Aluminium du Canada). 6

57. Le soudage électrique par résistance. Nègre, P.S.A., 1965. 3

58. Le soudage manuel à l'arc élecrique. Ducros, Baillière et Fils, 1971. 2,4

59. Le soudage oxyacétylénique. Gratton et Lanouette, S.G.M.E., 1958. 2,4,6

60. Soudage oxyacétylénique et techniques connexes. Leroy, P.S.A. 1963. 3

61. Soudez, brasez vous-mêmes. Coll. "Faites-le vous-même", no 41. 2,4

62. Soudure. Godin (tome 1). Editions du Québec Enr. -

63. Standard method for evaluating the strength of brazed joints. A.W.S., 1963. 3

64. Symbols for welding and testing. A.W.S., 1978. 4

65. Thesaurus international du soudage. 2,4

66. Weldability of steels. Strout-Doty, Hobart. 2,4

4

67. Welding and brazing. Vol. 6, C.W.S. 2,4

68. Welding and brazing qualification. Sect. 9, A.W.S. 2,4

69. Welding encyclopedia. Jefferson-McKenzie, Hobart. -

70. Welding engineer data sheets. Hobart. 3,4

71. Welding fabrication. Vol. 1, J.-G. Tweedale, 1969. -

72. Welding fundamentals. Vol. 1, C.W.S. 2,4

73. Welding handbook. A.W.S., 1978. 3

74. Welding inspection. Hobart. 2,4

75. Welding metallurgy. Linnert, Hobart. 2,3,4

76. Welding projects. J. Pender, McGraw-Hill 2,4,6

77. Welding projects for school shape. Hobart. 2,4,6

78. Welding technology. Giachino-Weeks-Johnson, A.T.S. 2,3

79. Welding terms and definitions. Hobart. 4

80. Welding trainting workbook. Hobart. -

Section - sciences

1. Au bout de la science. Société scientifique technica. 1,2,6

2. Introduction aux sciences expérimentales. Noiseux. -

3. Le jeune scientifique. J.-P. Drolet. 1,2,6

4. Manuel de l'Unesco pur l'enseignement des sciences. O.N.U. 1,2

5. Le Petit débrouillard. Fédération québécoise du loisir scientifique. 1981. 1,2,6

6. La science, c'est pour tout le monde. Editions Marcel Broquet. -

7. Sciences physiques. Harber-Schaim. 1,2

Diaporamas

Section-soudage (C.S.R.E.)

1. Les alliages ferreux (me-13)	-
2. Le brasage (hyd-1195)	2,4
3. Le coupage à l'oxygène (hy-04)	2,3,4
4. Équipement oxyacétylénique (hyd-1512)	2,4
5. Équipement de soudage à l'arc (hyd-1513)	2,4
6. La ferronnerie (hy-19)	2,4
7. Les matériaux métalliques (me-02)	1,2,4,6
8. Procédé Mig-Mag (hy-05)	4
9. Procédés de soudage série A (hyd-1656)	4,7
10. Procédés de soudage série B (hyd-1657)	4,7
11. Procédés de soudage série C (hyd-1658)	4,7
12. Procédés Mig-Mag et sous protection gazeuse (hyd-1659)	4,7
13. La sécurité en atelier (eqm-1023)	4
14. Le soudage au fer (hy-18)	2,4
15. Le soudage électrique à l'arc avec électrodes enrobées (hyd-1655)	2,3,4
16. Le soudage à l'arc électrique (hyd-1123)	2,4
17. Le soudage oxyacétylénique (hyd-1019)	2,4
18. La soudure (le soudeur) (ins-1408)	2
19. Les techniques d'assemblage (me-10)	2,4,6
20. Les techniques de formage des métaux (me-03)	4,6
21. Les traitements thermiques (me-12)	2,3
22. Welding symbols (hyd-1514)	2,4

Films

Section - soudage

1. L'aluminium soudé à grande vitesse (français). Aluminium du Canada	4,6,7
2. Air acetylene flame (anglais). M.M.P.	2,4
3. Aircraft welding (anglais). U.O.A.H., 1974.	4,6
4. Arc welding electrode selection (anglais). Hobart.	2,4
5. Arc welding methods (anglais). Miller, M.M.P.	4
6. Arc welding: safety and operations (anglais). B.W., I.T.F.	4
7. Braze welding (anglais). M.M.P.	4
8. Construction d'un joint en "Y" soudé (français). Moreland-Latchford (hyd-837), C.S.R.E.	4,6
9. Consumable guide welding (anglais). Guild Sound and Vision, I.T.F.	4,7
10. Fixation des métaux (français). Moreland-Latchford, 1968.	2,4
11. Flame cutting and grooving (anglais). M.M.P., 1973.	2,4
12. Flat and horizontal welding (anglais). M.M.P.	4,6
13. Friction welding at work (anglais). Guild Sound and Vision, M.M.P.	4
14. Fusion of steel (anglais). U.O.A.H., 1969.	2
15. Fusion welding (anglais). M.M.P.	4
16. Fusion welding of light gauge steel (anglais). M.M.P.	4,6
17. Gas tungsten arc welding process (anglais). Miller, M.M.P.	4
18. Good as new ... if not better (anglais). Miller, M.M.P.	2,4
19. Hebarc welding of carbon steel (anglais). Miller, M.M.P.	4,7
20. High speed movie of the welding arc (anglais).	3,4,7
21. Introducting diffusion bonding (anglais). Guild Sound and Vision, I.T.F.	1,3

22. Introduction to manual heliarc welding (anglais). M.M.P.	4,7
23. Introduction to soldering (anglais). V.E.C.	2,4
24. Joining (anglais). SME-CET.	2,4,7
25. Making a welded lateral joint (anglais). Moreland-Latchford, I.T.F.	2,4,6
26. Manual metal arc welding series. Part. 1 to 4 (anglais). Stewart, I.T.F.	2,4
27. Metal inert gas techniques (anglais). Moreland-Latchford.	2,4
28. A metallurgical investigation (anglais). Guild Sound and Vision	3,4,6
29. Metallurgy-electric arc (anglais). U.Q.A.H., 1974.	2,3,4
30. Metallurgy-oxyacetylen (anglais). U.Q.A.H., 1974.	2,3,4
31. Methods of forming metals (anglais). Calvin College, Massachusetts Institute of Technology.	2,4
32. Oxyacetylen welding: elementary and advanced (anglais). Stewart, I.T.F.	2,4
33. Oxyacetylen welding: safety and operations (anglais). B. et W., I.T.F.	4
34. Pipe welding techniques (anglais). Moreland Latchford, I.T.F.	4,6,7
35. Progress in metal joining (anglais). Hobart.	3,4
36. Pulsed TIG welding (anglais). Guild Sound and Vision, I.T.F.	3,7
37. Punktschweissen von Tiefziehblech (muet). U. Laval, 1967.	1,2
38. Recherche scientifique en soudage (français). U.Q.A.C., 1967.	3,7
39. Safety for welders (anglais). Caravel films, C.F.I., 1944.	4
40. Setting up for welding (anglais). M.M.P.	2,4
41. Short circuiting metal transfer (anglais). Miller, M.M.P.	3,4
42. Soldering (anglais). Moreland-Latchford, I.T.F.	4
43. Le soudage I et II (français). Moreland-Latchford, 1968. C.S.R.E.	2,4

44. Soudage par résistance I et II (français). Stewart, I.T.F. 2,4

45. Souder en sécurité (français). Stewart, I.T.F. 4

46. Soudure de tuyauterie (français). Moreland-Lachford, (hyd-830), C.S.R.E. 4,6

47. Steam drum welding (anglais). U. Concordia, 1973. 4,6

48. Superwelder (anglais). Education Ressources Foundation, I.T.F. 4

49. Technique de soudure à gaz inerte (français). Moreland-Latchford, (hyd-829), C.S.R.E. 2,4

50. Le transfert de métal en soudure à l'arc (français). I.S.C. (hyd-1669), C.S.R.E. 3,4

51. Transistor power sources (anglais). Guild Sound and Vision, I.T.F. 3,7

52. Tungsten inert gas welding part 1 and 2 (anglais). Stewart, I.T.F. 2,4

53. Vertical and overhead welding (anglais). M.M.P. 4,6

54. Welda search (anglais). Guild Sound and Vision, I.T.F. 4,7

55. Welder career exploration (anglais). Visual educational center. 4

56. Welding and Joining Technology (anglais). T.W. Eagar. 3

57. Welding: an introduction (anglais). Chill and ass., I.T.F. 2,4,6

58. Welding application with electron beam machinery (anglais). Farrell Co. 3,7

59. Welding by friction (anglais). Guild Sound and Vision, I.T.F. 1,3,4,7

60. Welding fume extractor (anglais). Guild Sound and Vision, I.T.F. 3,7

Films

Section - sciences

1. Ca bouge partout. Multimédia.	2
2. Ce qui fait bouger les autres. Multimédia.	2
3. L'électricité. Hydro-Québec, 1972.	1,2,4
4. J'étudie le courant électrique, 1978.	1,2
5. J'étudie l'électricité - pression et courant, 1967.	1,2,4,6
6. Loin de l'équilibre. Multimédia.	2
7. Motion of a molecule (anglais). Kalmia.	1,3
8. Physical properties (anglais). Kalmia.	1,2
9. Qu'est-ce que l'air? Multimédia, 1977.	1.2
10. Qu'est-ce que l'électricité? Moreland-Latchford.	1,2
11. Thermal expansion of solids (anglais). Kalmia	1,-
12. Le voyage en électricité. Multimédia, 1978.	2,4
13. Zoom cosmique. O.N.F., 1968.	2

Signification des abréviations

Manuels:	I.S.P.	Institut de soudure de Paris
	S.A.F.	Soudure autogène française
	S.M.S.	Syndicat national des fabricants de matériaux de soudage
	A.W.S.	American welding society
	A.T.S.	American technical society
	C.W.S.	Canadian welding society
	I.I.S.	Institut international de soudage
	P.S.A.	Publications de la soudure autogène
	E.O.Q.	Editeur officiel du Québec
Films:	M.M.P.	Marlin motion picture
	I.T.F.	International Télé-film Ltée
	C.S.R.E.	Commission scolaire de la régionale de l'Estrie
	V.E.C.	Visual educational center
	C.F.I.	Canadian film institute

Annexe 2

Test de connaissances de base en soudage

Nous présentons dans cet annexe une copie d'un test administré à deux classes de professionnel long. Cette épreuve touche plusieurs concepts fondamentaux relatifs aux techniques de soudage.

Annexe 2

Test de connaissances de base en soudage

1. Qu'est-ce que la fusion d'un métal?

   a) le métal solide devient liquide
   b) le métal liquide devient solide
   c) le métal se casse
   d) le métal devient plus dur

2. Lorsqu'une pièce est chauffée, toutes ses dimensions...?

   a) ne changent pas
   b) diminuent
   c) augmentent
   d) aucune de ces réponses

3. Lorsqu'une pièce est refroidie, toutes ses dimensions...?

   a) ne changent pas
   b) diminuent
   c) augmentent
   d) aucune de ces réponses

4. Dans le soudage au gaz, pourquoi emploie-t-on spécialement l'oxygène et l'acétylène?

   a) parce qu'il n'y a pas d'autres gaz à utiliser
   b) parce que ces deux gaz ne présentent aucun danger
   c) parce que seuls ces deux gaz peuvent être mélangés ensemble
   d) parce que ces deux gaz associés ensemble fournissent une très haute température idéale pour le soudage

5. Quel est le rôle du détendeur fixé aux bouteilles de gaz?

   a) d'éviter l'explosion des bouteilles
   b) d'abaisser la pression de sortie du gaz et d'assurer un débit régulier
   c) il n'a aucune utilité
   d) d'assurer l'étanchéité des bouteilles

6. Qu'est-ce qui provoque la chaleur lors du soudage à l'arc?

   a) l'augmentation de la température de la salle
   b) le frottement entre la pièce et l'électrode
   c) l'arc électrique causé par le courant électrique
   d) la combustion de l'électrode

7. Qu'est-ce que le courant continu CC (en anglais: DC direct current)?

   a) un courant électrique qui ne circule que dans un sens selon notre choix (qui a une polarité à la fois)
   b) un courant électrique qui n'a aucune polarité
   c) un courant électrique qui circule dans un sens, puis dans l'autre en alternant (qui a, tour à tour, les deux polarités)
   d) un courant électrique ouvert

8. Qu'est-ce que le courant alternatif CA (en anglais: AC alternative current)?

   a) un courant électrique qui ne circule que dans un sens selon notre choix (qui a une polarité à la fois)
   b) un courant électrique qui n'a aucune polarité
   c) un courant électrique qui circule dans un sens, puis dans l'autre en alternant (qui a, tour à tour, les deux polarités)
   d) un courant électrique fermé

9. Quelle est la différence entre un métal et un alliage?

   a) un métal est un mélange d'éléments et un alliage est un élément pur
   b) un métal est dur et un alliage est mou
   c) tous les deux sont des mélanges d'éléments purs
   d) un métal est un élément pur et un alliage est un mélange de métaux

10. Qu'est-ce qu'un métal ferreux?

    a) un métal contenant du fer
    b) un métal magnétique
    c) un métal dur et solide
    d) un métal ne contenant pas de fer

11. Pourquoi le soudeur doit-il être capable de reconnaître tous les métaux?

    a) pour paraître intelligent
    b) pour être capable de faire un bon choix de matériaux lors d'un projet de soudage
    c) pour être capable de bien souder
    d) pour ne pas perdre de temps à tenter de souder des matériaux qui ne se soudent pas bien

12. Un matériau a une bonne conductivité thermique si...

    a) si il s'échauffe facilement
    b) si il fond facilement
    c) si la chaleur se propage bien
    d) si sa couleur est jaune

13. Un matériau a une bonne conductivité électrique si...

a) si sa résistance électrique est élevée
b) si c'est un métal blanc
c) si le matériau est dur
d) si le courant électrique circule facilement dans ce matériau

14. Pourquoi un matériau se déforme-t-il lors du refroidissement?

a) parce qu'il émet de la chaleur
b) parce que le soudeur a mal préparé sa pièce
c) parce que la pièce est trop grande
d) parce que des forces internes agissent à l'intérieur du matériau

15. Que peut-on faire pour empêcher l'oxydation lors du soudage?

a) protéger la pièce contre l'air
b) souder plus rapidement
c) diminuer l'angle de l'électrode sur la pièce
d) employer des méthodes modernes de soudage

Document réalisé par: Richard Parent et P.A. Simard
Université de Sherbrooke

Annexe 3

Modules d'apprentissage des concepts scientifiques de base en soudage

Nous présentons dans cet annexe les trois modules d'apprentissage complétés par les membres de notre équipe ainsi qu'une première version des guides pédagogiques accompagnant chacun de ces modules.

Annexe 3-A
Module "Le courant électrique"

Annexe 3-B
Module "L'arc électrique"

Annexe 3-C
Module "La conductivité thermique"

Annexe 3-A

Module d'apprentissage
des concepts scientifiques
de base en soudage

Domaine

Électricité

Titre

Le courant électrique

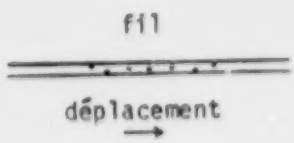
GUIDE PÉDAGOGIQUE

MODULE - LE COURANT ÉLECTRIQUE

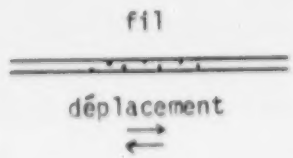
A. DESCRIPTION DU CONCEPT: LE COURANT ÉLECTRIQUE

Le courant électrique dans un fil est engendré par la circulation d'électrons du métal de ce fil. Cette circulation se produit toujours dans le même sens pour le courant continu et alterne pour le courant alternatif.

Cela signifie qu'en courant continu, les charges entrent par un bout du fil et sortent à l'autre bout sous l'effet de l'action d'une génératrice qui peut être soit une pile, soit une dynamo. Cette génératrice produit une différence de voltage qui force la circulation des électrons.



En courant alternatif, le mouvement des charges alterne (il est donc tantôt vers la droite, tantôt vers la gauche) à une fréquence qui est celle de l'alternateur.



B. PRÉSENTATION DE L'ANALOGIE

La comparaison du courant électrique avec la circulation de l'eau dans une tuyauterie en facilite la compréhension. Le débit d'eau est comparable au nombre d'ampères circulant dans un fil et la pression de l'eau représente assez bien le voltage généré par une source.

L'eau doit toujours circuler dans le même sens pour représenter le courant continu, alors que ce mouvement doit alterner pour représenter le courant alternatif. Ce module offre deux schémas en ce sens.

Dans le premier cas, une pompe rotative génère une pression continue qui amène la circulation de l'eau pour ainsi entraîner en rotation une turbine. Le rapprochement est ainsi fait avec le moteur entraîné ou l'arc à souder engendré par une source de courant.

Dans le second cas, la situation est un peu plus complexe puisque la circulation de l'eau doit alterner tout en produisant à la sortie un mouvement continu de rotation d'un moteur quelconque; c'est-à-dire le même résultat final que dans le premier cas. La différence majeure se situe donc au niveau du mode de circulation des charges dans le fil. L'enseignant doit insister sur l'alternance du mouvement de l'eau dans les tuyaux, alternance qui se produit également en courant alternatif. L'analogie est ici bien respectée.

C. LIMITES DE L'ANALOGIE

Il est évident que toute analogie a ses limites; que même si elle explique parfaitement certains phénomènes, elle en oublie d'autres. Ainsi, le mouvement de l'eau dans les tuyaux ne peut pas représenter toutes les propriétés du courant électrique. Une de ces propriétés importantes est le champ magnétique qui apparaît autour d'un fil supportant un courant, champ qui transmet l'énergie d'un

bobinage à l'autre dans un transformateur. Les propriétés du champ magnétique sont complexes ce qui rend la compréhension des principes d'un transformateur plutôt difficile pour des étudiants non-initiés.

On peut aussi représenter la résistance électrique par la section du tuyau dans lequel circule l'eau. Cependant, il est faux de prétendre que les charges électriques circulent plus rapidement dans un petit fil que dans un gros pour un même courant comme c'est le cas pour l'eau dans les tuyaux.

De plus, la résistance de l'eau se produit entre la paroi interne du tuyau et le bord de l'eau alors que la résistance électrique se produit entre les électrons et les atomes partout dans le métal. Il ne faut donc pas trop abuser de l'analogie en respectant les limites de celle-ci.

MODULE D'APPRENTISSAGE - CONCEPTS SCIENTIFIQUES DE BASE EN SOUDAGE

DOMAINE: ÉLECTRICITÉ

TITRE: LE COURANT ÉLECTRIQUE

OBJECTIF: Quand tu auras terminé ce module, tu devrais être capable de comprendre ce qu'est un courant électrique. Tu devrais aussi savoir faire la différence entre un courant continu et un courant alternatif.

Il est important pour toi de comprendre ces notions parce que tu utilises ces deux types de courant électrique lorsque tu exécutes une soudure à l'arc électrique.

DÉMARCHE: Pour faciliter ta compréhension, nous te présentons une comparaison entre un courant électrique et une conduite d'eau. Nous t'expliquerons également certains termes nouveaux qui sont reliés à la matière et qui sont souvent utilisés.

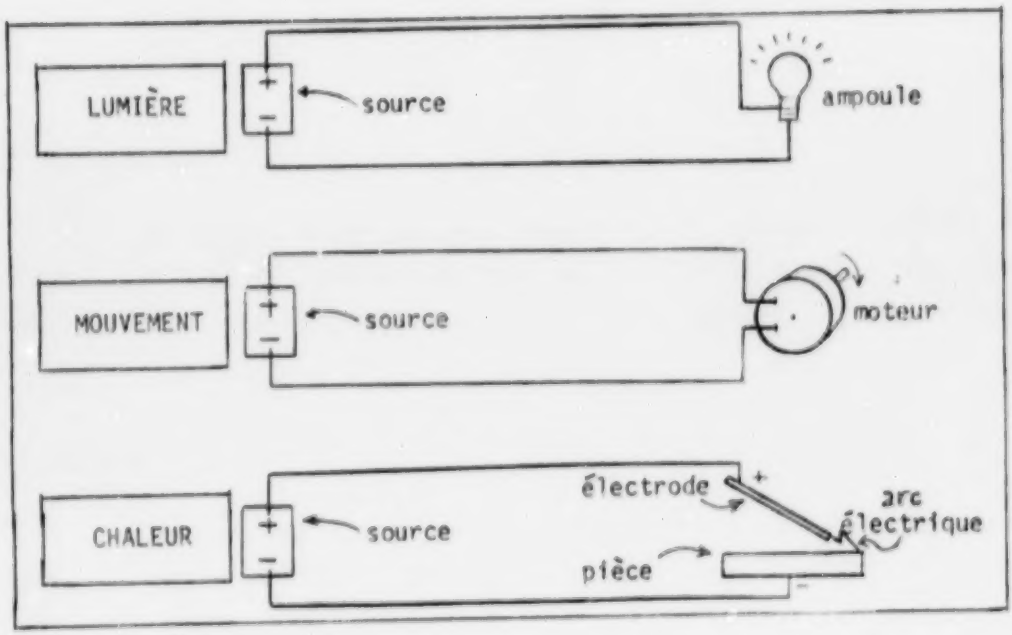
Les textes encadrés servent à attirer ton attention sur les explications les plus importantes et à te présenter des rappels qui te seront utiles. Des petites questions synthèses sont présentes pour t'aider à voir si tu as bien compris l'essentiel de la matière.

Enfin, un questionnaire est ajouté à la fin du module; tu pourras le compléter pour mieux te préparer en vue de l'examen.

CONTENU:	Notions principales	Notions secondaires
	. L'électricité	
	. Le courant électrique	. Le voltage . L'ampérage
	. Le circuit électrique en COURANT CONTINU	. La polarité . Le sens du courant . Les bornes
	. Le circuit électrique en COURANT ALTERNATIF	. La fréquence

L'électricité

La première question qui te vient à l'esprit est la suivante: Qu'est-ce qu'un courant électrique? Avant de te répondre, il est important que tu saches que ce courant électrique transportant de l'électricité peut apporter plusieurs choses dont tu as besoin dans la vie de tous les jours. En effet, l'électricité peut créer de la lumière, du mouvement ou de la chaleur.



L'arc électrique, que tu aperçois entre l'électrode et la pièce lorsque tu soudes, est créé par le fait qu'il y a deux bornes (positive et négative), qu'il y a une petite distance entre ces deux bornes, et que, finalement, il y a un courant électrique qui circule par l'entremise de cet arc. Et c'est précisément cet arc qui engendre toute la chaleur nécessaire à la fusion.

Si tu as bien compris ces schémas, tu as maintenant une bonne idée de ce qu'est l'électricité. Pour t'aider à t'en rappeler, voici une définition:

> l'électricité est une forme d'énergie qui circule dans un milieu conducteur dans le but de créer soit de la LUMIÈRE, du MOUVEMENT ou encore de la CHALEUR

Maintenant que tu sais ce qu'est l'électricité, voyons ce qu'est un courant électrique.

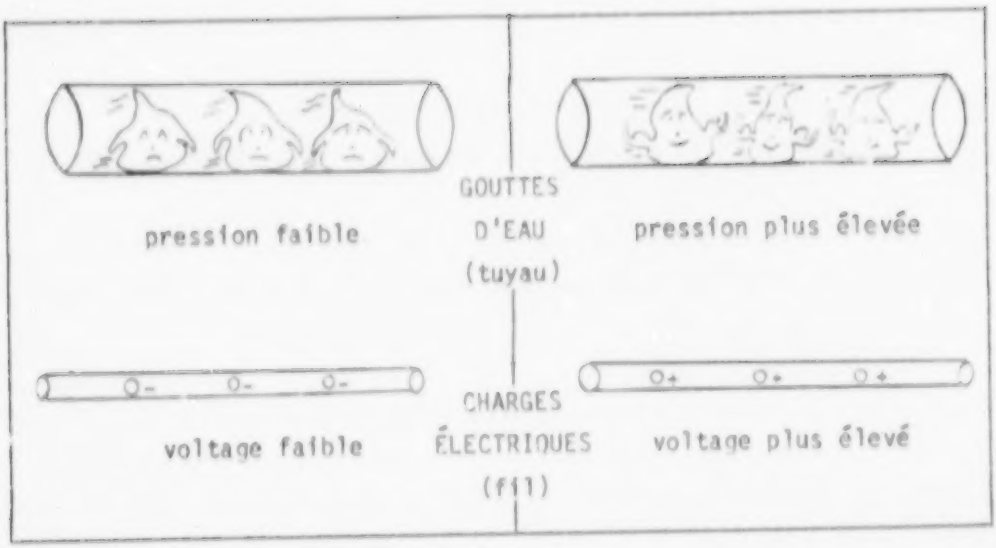
Le courant électrique

Qu'est-ce qu'un courant électrique? Rendons-nous donc à l'intérieur d'un fil électrique pour voir ce qui se passe. Regardons également à l'intérieur d'un tuyau d'eau et comparons les deux situations.

Le voltage

Imagine que l'eau est en gouttelettes toutes les unes derrière les autres. Fais de même pour les "gouttes d'électricité" qu'on appellera charges électriques.

En examinant les dessins suivants, souviens-toi tout d'abord que la PRESSION, c'est la force qui pousse l'eau dans le tuyau. Pareillement, en électricité, le VOLTAGE, c'est la force qui pousse le courant électrique dans le fil.



Donc, si la force qui pousse l'eau est faible (remarque dans le dessin les gouttes d'eau faibles), on dit que la PRESSION EST FAIBLE. Dans le fil électrique, si la force qui pousse les charges est faible, on dit que le VOLTAGE EST FAIBLE.	Mais, si la force qui pousse l'eau est plus grande (remarque dans le dessin les gouttes d'eau plus fortes), on dit que la PRESSION EST PLUS ÉLEVÉE. Dans le fil électrique, si la force qui pousse les charges est plus grande, on dit que le VOLTAGE EST PLUS ÉLEVÉ.

Pour voir si tu as bien compris les comparaisons que nous venons de te présenter, essaie de répondre à ces questions sans regarder les explications précédentes:

- *Comment avons-nous appelé les gouttes d'électricité?*

_____

- *Comment appelle-t-on la force qui pousse le courant électrique?*

_____

_____

L'ampérage

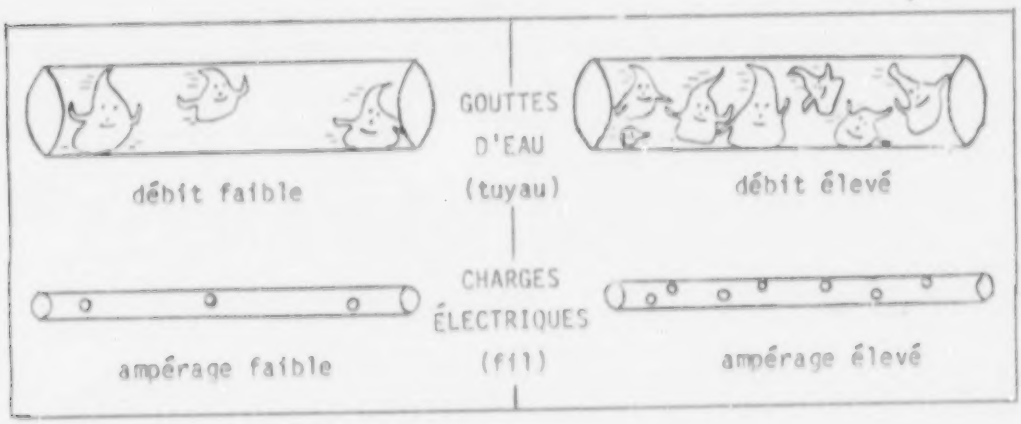
Il y a une autre notion que tu utilises très souvent lorsque tu exécutes une opération de soudage à l'arc: c'est L'AMPÉRAGE.

Imagine encore une fois nos gouttes d'électricité (les charges électriques) dans un fil comparées aux gouttelettes d'eau dans le tuyau.

Si nous examinons notre courant d'eau dans la tuyauterie et que nous essayons de compter la quantité d'eau qui passe à chaque seconde; nous serons alors en train de mesurer le débit. Il existe des appareils appelés débitmètres qui peuvent mesurer facilement cette quantité.

Cependant, imaginons que nous pouvons compter cette quantité en terme de gouttes. Eh bien, dis-toi que la quantité de gouttes d'eau mesurée dans une tuyauterie: LE DÉBIT, est comparable à la quantité de charges électriques dans un fil: L'AMPÉRAGE.

Le dessin qui suit te permettra de mieux comprendre ce qu'est l'ampérage. Retiens, qu'ici, nous ne parlons plus de la <u>force</u> de l'eau ou du courant, mais de la <u>quantité</u> d'eau ou de courant.



Donc si la quantité d'eau qui circule dans le tuyau est petite, (remarque dans le dessin les gouttes d'eau très peu nombreuses); on dit que le DÉBIT EST FAIBLE. Dans le fil électrique, si la quantité de charges électriques qui circule dans le fil est petite, on dit que L'AMPÉRAGE EST FAIBLE.	Mais si la quantité d'eau qui circule dans le tuyau est grande (remarque dans le dessin les gouttes d'eau beaucoup plus nombreuses), on dit que le DÉBIT EST ÉLEVÉ. Dans le fil électrique, si la quantité de charges électriques qui circule dans le fil est grande, on dit que l'AMPÉRAGE EST ÉLEVÉ.

As-tu bien compris la notion d'ampérage? Pour le savoir, dis-moi en tes propres mots pourquoi l'ampérage et le débit sont comparables?

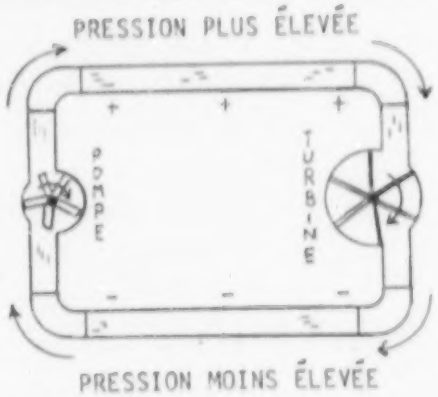
Comme tu viens de voir ce qui se passe dans un petit bout de fil, il serait utile de te présenter maintenant un circuit complet.

Le circuit électrique en COURANT CONTINU

Dans tout circuit, il faut que tu comprennes qu'il y a premièrement une SOURCE d'énergie, deuxièmement un milieu CONDUCTEUR et, troisièmement un "quelque chose" qui a besoin d'énergie pour fonctionner qu'on appellera "SYSTEME".

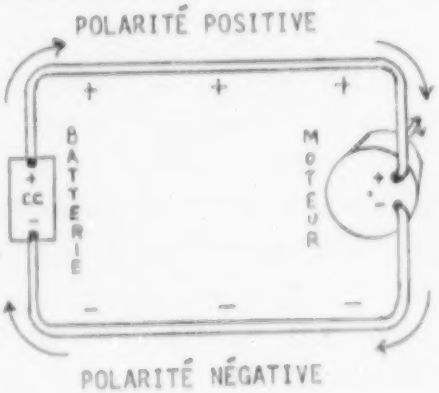
Alors, examine bien les deux schémas suivants et compare les explications. Nous te présentons un circuit en COURANT CONTINU dans une conduite d'eau et dans un fil électrique.

Ici, la source d'énergie, c'est une pompe. Elle pousse l'eau vers le haut; donc il y a une pression plus élevée en haut.



L'eau perd sa pression en faisant tourner le système qui est ici une turbine. Il y a donc par la suite une pression moins élevée en bas.

Ici, la source d'énergie, c'est une batterie. Elle pousse le courant électrique vers le fil du haut; donc il y a un voltage plus élevé en haut.



Le courant perd son voltage en faisant tourner le système qui est ici un moteur. Il y a donc par la suite un voltage moins élevé en bas.

Tu remarques que la notion de polarité est entrée en jeu. C'est cette polarité qui nous aidera à retrouver le voltage le plus élevé et, également, à nous indiquer le sens du courant.

Dans un circuit électrique, on appellera toujours borne de polarité positive la borne ou le voltage sera le plus élevé et borne négative celle ou le voltage sera le moins élevé.

De plus, tu as dû remarquer que le sens du courant est réglé justement par ce voltage plus élevé qui pousse les charges électriques; ainsi LE SENS CONVENTIONNEL DU COURANT EST DE LA BORNE POSITIVE À LA BORNE NÉGATIVE.

Ce sens d'écoulement du courant est très important dans toutes les réalisations de soudage que tu fais. Selon les applications que tu exécutes en atelier, tu peux choisir le sens de courant qui est le plus avantageux. Tu auras donc les deux possibilités suivantes:

- POLARITE INVERSE ou REVERSE
  électrode - borne positive
  pièce —— borne négative
  le courant passera donc de l'électrode à la pièce.

- POLARITÉ NORMALE ou STRAIGHT
  électrode - borne négative
  pièce —— borne positive
  le courant passera donc de la pièce à l'électrode.

Tu vois cependant que tu ne pourras avoir qu'un sens à la fois; c'est la caractéristique principale du COURANT CONTINU. .

Mais alors, qu'est-ce qui caractérise le courant alternatif? Quelle est la différence par rapport au courant continu? Voyons cela!

Le circuit électrique en COURANT ALTERNATIF

Pour débuter, nous allons te donner une définition du courant alternatif que tu essaieras de garder en mémoire.

> Un courant alternatif est un courant qui circule dans un sens, puis dans l'autre sens; tout en alternant de un à l'autre très rapidement. Cependant, il apporte le MÊME RÉSULTAT FINAL que le courant continu; soit de la lumière, du mouvement ou de la chaleur.

Pour te faire voir ce qu'est le courant alternatif sur un schéma, nous allons encore une fois comparer le circuit électrique à une conduite d'eau. Cependant, nous devons modifier notre montage afin que tu voies de tes propres yeux cette "fameuse alternance".

Nous te proposons le montage suivant qui comporte deux nouveaux éléments; soit un piston et une bielle. Portes toute ton attention sur le mouvement de ces éléments.

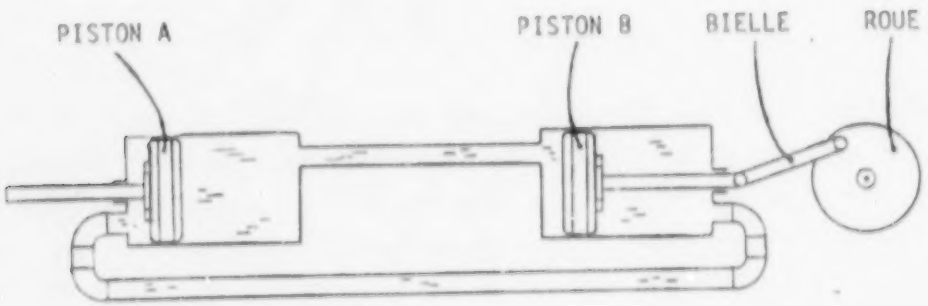


FIGURE 1

Comme tu le vois, nous avons remplacé la pompe par un piston (le piston A) qui devient la source d'énergie. À l'autre extrémité, nous avons remplacé la turbine par une roue actionnée par un second piston (le piston B) au moyen d'une bielle; cette roue est le système qui attend l'énergie, c'est-à-dire que nous voulons faire tourner tout comme la turbine présente dans notre circuit en courant continu.

Maintenant, poussons sur notre piston A pour le faire bouger de gauche à droite et regardons le résultat sur la roue. Nous aurons ceci:

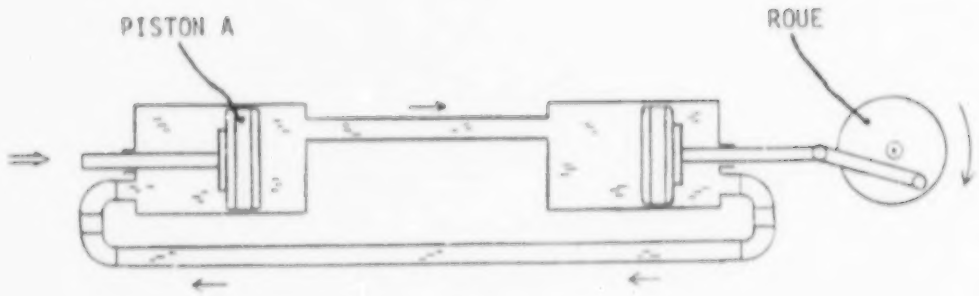


FIGURE 2

Tu vois bien que la roue tourne dans le sens des aiguilles d'une montre. Dans quel sens penses-tu que cette roue tournera si nous tirons sur notre piston A; c'est-a-dire que nous le déplaçons de droite à gauche? Si tu examines bien le dessin, tu verras que la roue tournera également dans le sens des aiguilles d'une montre. Nous aurons en fait ceci:

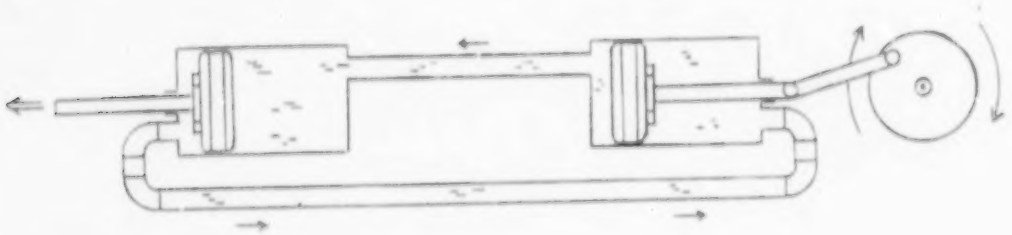
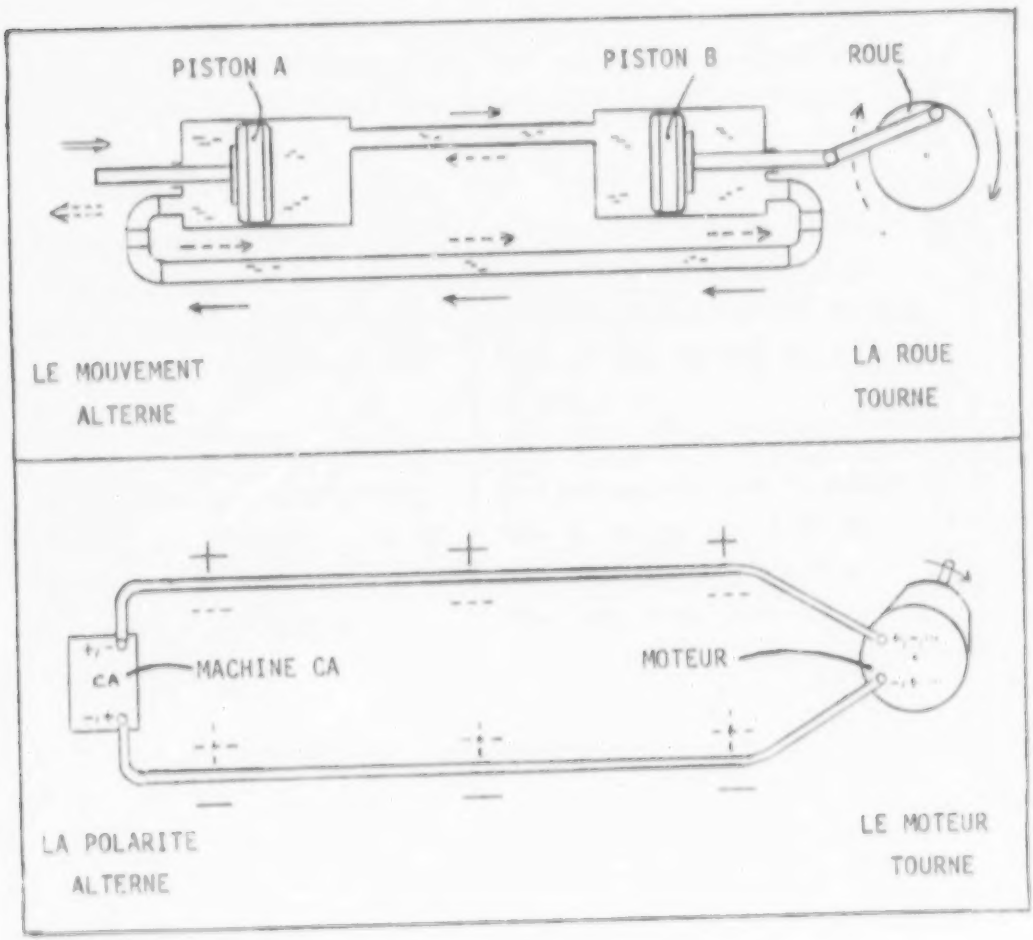


FIGURE 3

Tu vois que si tu actionnes le piston A de gauche à droite, puis de droite à gauche sans arrêt; eh bien, tu feras tourner la roue sans arrêt et toujours dans le même sens. Remarque que la fig. 3 revient à la fig. 1.

Finalement, tu verrais que, même s'il y a des changements brusques (par coups) dans le sens d'écoulement; eh bien, la roue, elle, tournerait sans arrêt, toujours dans le même sens comme nous venons de le dire mais également de façon régulière (sans coups).

Avec ce que tu viens de voir, tu seras capable de mieux comprendre ce qu'est un courant alternatif. Faisons donc la comparaison entre la conduite d'eau et le circuit électrique comme nous l'avons fait pour le courant continu.



Tout en examinant le tableau comparatif de la page précédente, lis les remarques suivantes et essaie de comprendre les différentes comparaisons.

CONDUITE D'EAU	CIRCUIT ÉLECTRIQUE
Si le piston A va de gauche à droite, l'eau est poussée dans le tuyau du haut; donc LA PRESSION EST PLUS ÉLEVÉE EN HAUT.	Si la source a la polarité positive en haut, le courant est poussé vers le fil du haut; donc LE VOLTAGE EST PLUS ÉLEVÉ EN HAUT.
Le résultat est que la roue fait un demi-tour dans le sens des aiguilles d'une montre.	Le résultat est que le moteur fait un demi-tour dans le sens des aiguilles d'une montre.
Si le piston va de droite à gauche, l'eau est poussée dans le tuyau du bas; donc LA PRESSION EST PLUS ÉLEVÉE EN BAS.	Si la source a la polarité positive en bas, le courant est poussé vers le fil du bas: donc LE VOLTAGE EST PLUS ÉLEVÉ EN BAS.
Le résultat est que la roue fait un autre demi-tour mais toujours dans le sens des aiguilles d'une montre.	Le résultat est que le moteur fait un autre demi-tour mais toujours dans le sens des aiguilles d'une montre.

De plus, rappelle-toi deux choses:

. la borne possédant le voltage le <u>plus élevé</u> obtient la polarité <u>positive</u>; et la borne possédant le voltage le <u>moins élevé</u> obtient la polarité <u>négative</u>;

- le sens du courant est toujours du positif au négatif.

Finalement, dis-toi bien que nous avons utilisé ces comparaisons pour te faire mieux comprendre ce qui se passe dans un fil électrique en courant continu et en courant alternatif. Peu importe ce qu'il y a à une extrémité du circuit; soit une ampoule, un moteur ou un arc électrique pour souder; rappelle-toi qu'il y a deux sortes de courant pour arriver au même résultat final: de la LUMIÈRE, du MOUVEMENT ou de la CHALEUR.

Pour bien résumer ce que nous venons de te présenter et voir si tu as bien compris les diverses comparaisons; lis les rappels suivants et remplis les espaces vides:

. LE COURANT CONTINU est un courant qui ne circule que dans un sens à la fois dans le circuit. Il circule toujours du positif au négatif mais il passera de l'électrode à la pièce ou de la pièce à l'électrode selon la polarité que le soudeur aura choisi.

. LE COURANT ALTERNATIF est un courant qui change de sens très rapidement. En fait, il circule toujours du positif au négatif; mais comme les polarités (+) et (-) sont alternées sans arrêt, le courant change de sens pour respecter cette circulation du (+) vers le (-).

Dans notre comparaison d'un circuit électrique avec une conduite d'eau, dis-nous de quelle façon nous comparons les différents éléments présentés dans les schémas.

COURANT D'EAU CONTINU	COURANT ÉLECTRIQUE CONTINU
La SOURCE d'énergie est une _____.	La SOURCE d'énergie est une _____.
Le SYSTÈME qui prend l'énergie est une _____.	Le SYSTÈME qui prend l'énergie est un _____.
COURANT D'EAU ALTERNATIF	COURANT ÉLECTRIQUE ALTERNATIF
La SOURCE d'énergie est un _____.	La SOURCE d'énergie est une _____.
Le SYSTÈME qui prend l'énergie est une _____.	Le SYSTÈME qui prend l'énergie est un _____.
PRINCIPE	
Quand l'eau est poussée dans le tuyau du haut, on dit que la _____ dans ce tuyau est plus élevée.	Quand le courant est poussé dans le fil du haut, on dit que le _____ dans ce fil est plus élevé.
Le résultat final est le MOUVEMENT de la _____.	Le résultat final est le MOUVEMENT du _____.
COURANT D'EAU	COURANT ÉLECTRIQUE

. Dans un circuit électrique, la borne ayant le voltage le moins élevé obtient la POLARITÉ _____.

. Le sens conventionnel du courant est du _____ au _____.

. Lorsque tu utilises le courant continu pour souder à l'arc, tu dois décider du sens de circulation du courant; soit en polarité _____ ou en polarité _____.

. Cependant, lorsque tu utilises le courant alternatif, tu n'as pas de tels choix à faire; car, en fait, chaque borne a, tour à tour, les deux _____, soit positive et négative.

. Quel que soit le courant que tu choisiras, l'électricité pourra t'apporter trois choses: soit de la _____, soit du _____ ou soit de la _____; et c'est surtout cette dernière qui t'intéresse dans tes opérations de soudage.

La fréquence

Tu as dû remarquer que, lorsque tu utilises le courant alternatif, tu vois un nouveau terme entrer en jeu: soit la FRÉQUENCE.

Eh bien, la fréquence: c'est le nombre de cycles complets réalisés par la machine qui alterne; et cela, en une seconde.

Nous allons prendre un exemple pour que tu comprennes bien ce que nous entendons par cycle. Revenons à notre conduite d'eau avec le piston.

Si ce piston se déplace de gauche à droite, puis de droite à gauche; c'est-à-dire qu'il revient à son point de départ, on dit qu'il a effectué un cycle complet. Si, par exemple, ce déplacement a duré 1 seconde; on dit qu'il a effectué 1 cycle en 1 seconde. Ici, la fréquence est de 1 cycle par seconde.

Mais qu'est-ce qui en est pour le circuit électrique?

Si la polarité de la borne supérieure de la machine CA passe de positive à négative puis revient positive, c'est-à-dire qu'elle revient à sa polarité de départ, on dit qu'elle a effectué un cycle complet. Si, par exemple, ce changement a duré 1 seconde; on dit qu'il y a eu 1 cycle en 1 seconde. Ici encore, la fréquence est de 1 cycle par seconde ou 1 Hertz.

Nous avons choisi 1 seconde comme exemple pour faciliter ta compréhension; mais, en réalité, un courant alternatif normal a une fréquence beaucoup plus élevée. Garde en mémoire ce qu'il y a dans l'encadrement ci-contre.

Pour un courant électrique alternatif normal, on a une fréquence de 60 cycles par seconde; c'est-à-dire que la polarité passe de positif à négatif puis revient positif; tout cela 60 fois par seconde.

Conclusion

Nous avons tenté dans ce module de faciliter ta compréhension du courant électrique. Nous espérons que la comparaison d'un circuit électrique avec une conduite d'eau t'a aidé à mieux voir ce qui se passe dans un fil électrique.

Souviens-toi, en résumé, que nous pouvons comparer des charges électriques dans un fil à des gouttelettes d'eau dans un tuyau. Rappelles-toi également qu'il existe deux types de courant soit le courant continu et le courant alternatif; et que le résultat qu'ils apportent est le même. Leur seule différence est dans le mode de circulation.

Les petites questions synthèses que tu as aperçues dans le module sont présentes pour t'aider, par toi-même, à voir si tu as bien compris l'essentiel de la matière. Enfin, un questionnaire est ajouté à la fin du module; tu peux le compléter pour mieux te préparer en vue de l'examen.

Bonne chance et à la prochaine!

MODULE 1

LE COURANT ÉLECTRIQUE — TEST - COMPRÉHENSION

1. Tu sais déjà que l'électricité te permet d'avoir de la chaleur par l'entremise de l'arc électrique lorsque tu soudes; nomme les deux autres choses que l'électricité peut t'apporter dans la vie de tous les jours?

_____

2. En pensant à la comparaison que nous avons faite avec la conduite d'eau, dis-moi en tes propres mots ce qu'est le voltage?

_____

_____

3. Dans la même comparaison avec la conduite d'eau, pourquoi comparons-nous l'ampérage au débit?

_____

_____

4. Dans un circuit électrique, le voltage plus élevé à une borne et moins élevé à l'autre nous permet d'assigner des polarités à ces bornes. Lesquelles?

_____

_____

5. Quel est le sens conventionnel du courant électrique, qu'il soit continu ou alternatif?

_____

6. Dis-moi en tes propres mots la différence entre un courant continu et un courant alternatif?

_____

_____

_____

_____

_____

7. En pensant à la définition de la fréquence, dis-moi combien de fois par seconde la polarité change-t-elle pour un courant électrique de 60 Hertz ou 60 cycles par seconde? Souviens-toi de ce que c'est un cycle!

_____

APPRÉCIATION DES MODULES
SONDAGE

1. Comment as-tu apprécié la lecture de ce module?
   Très intéressant __ Moyennement intéressant __ Peu intéressant__

2. Qu'est-ce qui t'a aidé le plus à apprendre quelque chose?

   _____

3. Qu'est-ce qui t'a aidé le moins à apprendre quelque chose?

   _____

4. Est-ce que les schémas t'ont aidé à mieux comprendre?

   _____

5. Est-ce que les termes utilisés dans le texte étaient trop complexes, ou trop simples, ou adéquats?

   _____

6. As-tu une meilleure idée maintenant de ce qu'est un courant électrique?

   _____

7. Aimerais-tu avoir des modules du même genre pour d'autres sujets en relation avec ton cours de soudage?

   _____

8. Autres commentaires?

   _____
   _____
   _____

Annexe 3-B

Module d'apprentissage des concepts scientifiques de base en soudage

Domaine

Électricité

Titre

L'arc électrique

GUIDE PEDAGOGIQUE

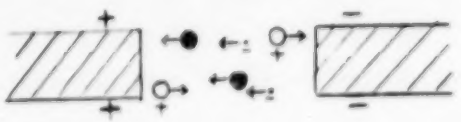
MODULE - L'ARC ÉLECTRIQUE

A. DESCRIPTION DU PHÉNOMENE

La compréhension du fonctionnement d'un arc électrique repose sur la visualisation du comportement des atomes d'un gaz dans un plasma. Peu importe le gaz présent dans l'arc, la discussion relative aux diverses interactions présentes dans cet arc reste la même à quelques exceptions près.

Par exemple, pour le soudage avec protection gazeuse comme l'argon, le phénomène reste le même avec, en plus, des molécules d'oxygène et d'azote non-dissociées. Cependant, nous nous limiterons dans ce module au soudage à l'arc électrique; donc avec l'air comme gaz.

Le phénomène repose sur l'ionisation partielle du gaz présent pour un pourcentage d'environ 5% d'ions et 95% d'atomes. Un atome en s'ionisant libère un électron de sorte que le gaz est essentiellement composé d'atomes neutres, d'ions positifs et d'électrons négatifs. Toutes ces particules sont soumises à une force électrique générée par la différence de voltage entre les deux électrodes.



Le mouvement des particules se fait comme suit:

1. Les électrons

La force électrique agit de façon à entraîner des électrons vers l'électrode positive. Les électrons sont très légers. Émis en grand nombre par la cathode, ils arrivent à l'anode en emportant une énergie due à leur vitesse. Certains électrons frappent des atomes neutres et les ionisent. Ce phénomène se produit principalement près de l'électrode positive.

2. Les ions

La force électrique entraîne les ions vers l'électrode négative. Ces ions ont cependant de la difficulté à circuler vers la droite car ils frappent constamment des atomes neutres ce qui nuit à leur mouvement. Ils apportent avec eux une certaine énergie vers l'électrode négative.

3. Les atomes

Les ions situés près de la cathode se recombinent avec des électrons pour devenir des atomes neutres. Ceux-ci ne peuvent pas rester là mais doivent diffuser vers la gauche afin d'équilibrer leur distribution. Les atomes neutres se déplacent donc vers la gauche étant soumis à une force dite de diffusion.

• Bilan énergétique

Le bilan énergétique de l'arc aux électrodes n'est pas très simple à produire. Disons d'abord qu'un ion arrivant à droite comporte beaucoup plus d'énergie qu'un électron arrivant à gauche; cette énergie provenant surtout de sa recombinaison avec un électron. Inversement, un atome arrivant à gauche qui se fait ioniser enlève de l'énergie aux électrons de cette région.

On sait cependant que l'électrode positive chauffe plus que l'électrode négative. La raison profonde expliquant ce phénomène découle du nombre: en effet, les électrons émis par la cathode sont très nombreux. Ce sont eux qui dominent dans le bilan énergétique et qui provoquent ainsi l'asymétrie du chauffage des électrodes. Chacun de ces électrons emporte peu d'énergie mais, étant en très grand nombre, l'électrode positive reçoit plus de chaleur que l'électrode négative.

B. PRÉSENTATION DE L'ANALOGIE

La composition d'un module destiné à faire comprendre le fonctionnement d'un arc électrique à des étudiants non initiés en sciences de base présente des difficultés certaines. On peut assez facilement imaginer le mouvement de petites billes (les atomes): mais lorsque l'on a des billes très légères (les électrons) en présence de billes très lourdes (les ions et les atomes), la description de ce mouvement devient compliquée. C'est toutefois le cas dans un arc électrique.

Le but du jeu imaginaire proposé dans ce module est de mettre en évidence le phénomène du nombre de particules arrivant à gauche ou à droite. L'espace disponible entre les deux tables (les deux électrodes) est très restreint. Ceci est voulu afin de rendre difficile le mouvement des joueurs. Ceux-ci représentent les ions ou les atomes (un joueur sans plume est un ion et un joueur avec une plume est un atome).

Les plumes d'oiseaux sont des électrons. La légèreté des électrons est ici bien représentée. On peut citer un exemple concret en parlant de la molécule d'oxygène qui a un poids soixante mille fois supérieur à celui d'un électron.

Les plumes sont donc emportées par le courant du ventilateur (comme les électrons par la force électrique) et elles se faufilent aisément à travers les joueurs (comme les électrons à travers les ions et les atomes). Ces plumes parviennent à gauche en très grand nombre alors que peu de joueurs se rendent à droite. L'enseignant doit appuyer sur ce point afin de bien faire comprendre aux étudiants le jeu du nombre. Cette compréhension est essentielle.

C. LIMITES DE L'ANALOGIE

Il est évident que toute analogie a ses limites: que même si elle explique parfaitement certains phénomènes, elle en oublie d'autres. Ici, ce que le jeu ne peut pas représenter est lié au transport de l'énergie. En effet, on ne peut pas associer de l'énergie ni aux plumes ni aux joueurs. C'est un point à souligner. Les électrons et les ions transportent de l'énergie à cause de leur mouvement et cette énergie est cédée aux électrodes.

Les particules transportent également des charges électriques qui sont en fait le courant électrique de l'arc. Le jeu ne rend pas compte de ce phénomène. On peut cependant comprendre par le jeu que le courant électrique est transporté presqu'entièrement par les électrons à cause de leur nombre.

Cependant, le point essentiel à retenir est lié au nombre et cela, le jeu le présente de façon simple et claire.

MODULE D'APPRENTISSAGE - CONCEPTS SCIENTIFIQUES DE BASE EN SOUDAGE

DOMAINE: ÉLECTRICITÉ

TITRE: L'ARC ÉLECTRIQUE

OBJECTIF: Quand tu auras terminé ce module, tu devrais être capable de comprendre les divers phénomènes se produisant dans un arc électrique.

Il est important pour toi de comprendre ces notions car, même si tu observes facilement cet arc entre ton électrode et ta pièce, tu ne vois cependant pas la foule de choses se produisant dans ce petit espace.

De plus, tu devrais, à la fin de ce module, être capable d'expliquer la fameuse énigme de la distribution de la chaleur. Pourquoi 2/3 de la chaleur a une borne et 1/3 à l'autre. Allez, tourne les pages... tu verras bien!

DÉMARCHE: -Pour faciliter ta compréhension, nous te présenterons, à la suite des explications théoriques, un jeu que nous avons imaginé et qui, tu le verras bien, simplifiera de beaucoup les notions précédentes. Alors, sois donc patient lors de ta lecture.

-Les textes encadrés servent à attirer ton attention sur les explications les plus importantes et à te présenter des rappels qui te seront utiles. Des petites questions synthèses sont présentes pour t'aider à voir si tu as bien compris l'essentiel de la matière. Enfin, un questionnaire est ajouté à la fin du module; tu pourras le compléter pour mieux te préparer en vue de l'examen.

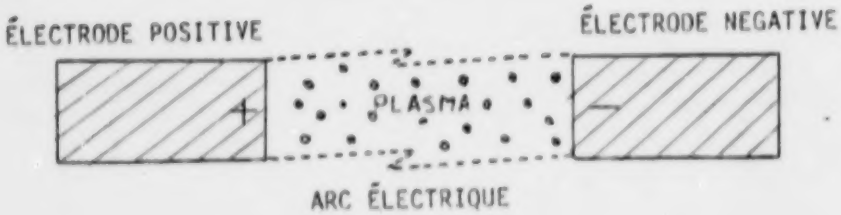
CONTENU: Notions principales	Notions secondaires
. L'arc électrique	. les électrodes . le plasma . les conventions de polarité pour un soudeur: normale et inversée
. Le gaz en présence: l'air	
. Les atomes, ions et électrons	. l'ionisation . les charges électriques . le poids des éléments . le mouvement des charges: attirance ou répulsion
. Un jeu imaginaire "La course aux plumes d'oiseaux"	
. La distribution de chaleur: - dans l'arc en courant continu - dans l'arc en courant alternatif	
. Les autres phénomènes	

L'arc électrique

Lorsque tu exécutes une opération de soudage à l'arc, tu te poses sûrement les questions suivantes:

- D'où ça vient ce petit éclair permanent et lumineux?
- Pourquoi y a-t-il tant de chaleur dégagée?

En bien, pour voir tout cela et peut-être répondre à ces questions, nous allons nous imaginer être de minuscules petits bonhommes. Ainsi, nous pourrons aller voir de plus près cet arc électrique si bizarre. Le voici présenté d'une façon spéciale:



Tu dois sûrement te demander qu'est-ce que tout cela veut dire?

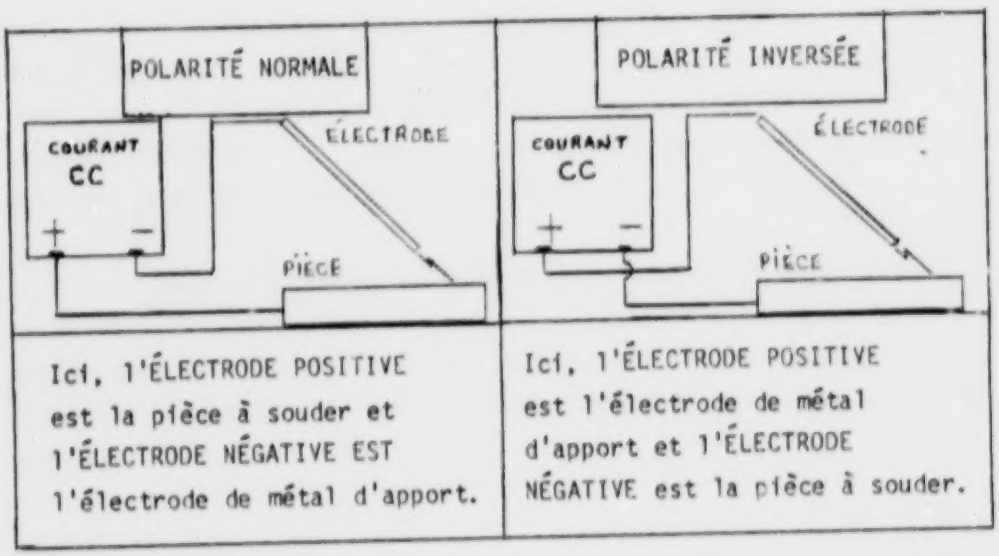
Premièrement, nous utilisons les termes électrode positive et électrode négative car la définition d'un ARC ÉLECTRIQUE est la suivante:

> éclair lumineux permanent créé entre deux électrodes parcourues par un courant électrique et dégageant une chaleur intense.

Donc le mot électrode est utilisé ici dans un sens général. Pour toi qui es un soudeur à l'arc électrique, tu utilises des termes précis qui sont la pièce à souder et l'électrode de métal d'apport.

Tout dépendant de la polarité que tu choisiras; soit INVERSÉE ou NORMALE, les électrodes positive et négative de notre schéma deviendront la pièce à souder ou l'électrode de métal d'apport.

Voilà, j'espère que tu comprends bien cette précision car nous poursuivrons le module avec les termes électrode positive et négative. Tu n'as qu'à imaginer une pièce et une électrode aux bons endroits comme l'indique le schéma suivant:



Ici, l'ÉLECTRODE POSITIVE est la pièce à souder et l'ÉLECTRODE NÉGATIVE EST l'électrode de métal d'apport.

Ici, l'ÉLECTRODE POSITIVE est l'électrode de métal d'apport et l'ÉLECTRODE NÉGATIVE est la pièce à souder.

Donc tu comprends qu'un arc électrique est créé entre deux électrodes. Pourquoi y en a-t-il une positive et une négative? Parce qu'un courant électrique continu circule entre ces deux électrodes par l'entremise de l'arc électrique. Automatiquement, des polarités sont assignées aux électrodes selon les connections avec la source.

C'est ce courant électrique qui provoque l'éclair lumineux qu'est l'arc. En fait, c'est comme si tu brisais un fil électrique et

que tu gardais les deux extrémités très proches l'une de l'autre. Le courant continuerait à circuler dans l'espace entre les deux bouts de fil car l'étincelle provoquée lors de la cassure de ce fil resterait là et servirait de pont entre les deux.

C'est d'ailleurs à cet endroit qu'est la grosse différence car le courant ne circule plus tout le long d'un fil de métal qui conduit l'électricité. Il est dans l'air à travers un éclair entre les deux métaux conducteurs. Et il se passe une foule de choses dans ce petit espace. Voyons voir!

Ce qu'il y a dans l'arc

Tout d'abord, l'arc électrique généré entre les deux électrodes forme ce qu'on appelle le PLASMA. Le plasma, c'est un gaz très chaud composé d'atomes très petits qui bougent continuellement. Ce gaz peut être soit de l'air, de l'argon, du gaz carbonique ou de l'hélium selon le procédé à l'arc que tu utilises.

Dans le procédé à l'arc le plus simple et celui que tu utilises le plus souvent d'ailleurs; c'est-à-dire le soudage à l'arc électrique dans l'air; il n'y a pas de gaz spéciaux comme l'argon ou l'hélium; mais il y a tout de même présence d'un gaz très simple. Lequel? L'air, bien oui!

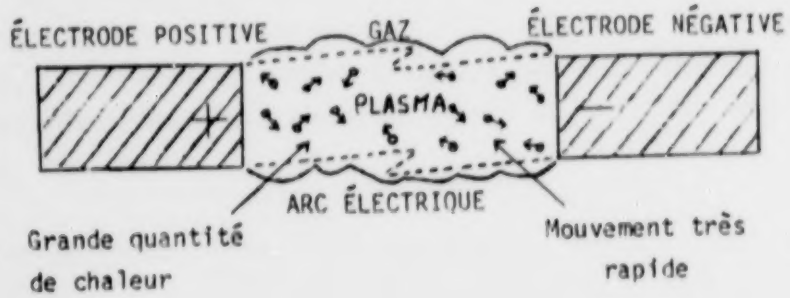
Un gaz présent: l'air

Nous sommes souvent portés à croire que tous les gaz n'ont pas une bonne odeur et sont dangereux pour la santé. Eh bien, ce n'est pas le cas puisque l'air est non seulement inodore (n'a pas d'odeur), incolore (n'a pas de couleur) et transparent (on ne le voit pas); mais également est essentiel à notre survie puisqu'il nous permet de respirer.

Une grande activité dans l'arc

Tu vois maintenant qu'il y a deux éléments dans ce petit espace qu'est l'arc; soit l'étincelle provoquée par le courant électrique et le gaz, par exemple l'air.

Nous t'avons déjà dit que cet espace contenait le plasma et qu'il y avait une grande activité à l'intérieur. En effet, la chaleur très élevée et le mouvement très rapide forcent les éléments structurant le gaz à se décomposer.



Imagines-toi à l'intérieur de l'arc électrique. Tu verrais, en effet, qu'il fait très chaud et qu'il y a beaucoup d'activité.

Atomes, ions et électrons???

Cette activité est provoquée par les éléments du gaz qui se décomposent; on dit que LES ATOMES S'IONISENT. Tu dois te demander:

- Qu'est-ce qu'un atome?
  C'est une minuscule partie de matière, soit d'un gaz, d'un solide ou d'un liquide.

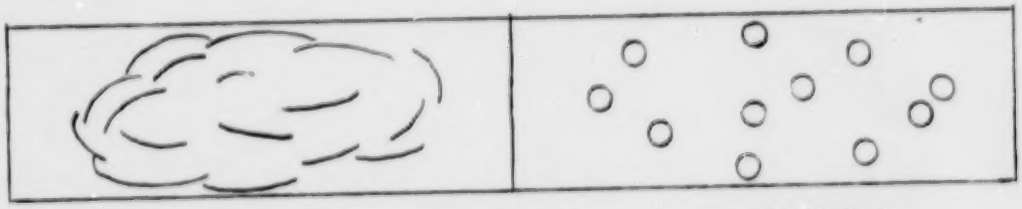
- Qu'est-ce que l'ionisation?
  C'est cette particule élémentaire: l'atome, qui se décompose en d'autres particules qu'on appelle ions et électrons.

Ouf! tu dois te dire: "ça ressemble à un cours de chimie", ou encore "ça fait pas mal de nouveaux mots à apprendre"!

Ne t'en fais pas avec cela, nous te dirons en temps et lieu ce qui sera essentiel à retenir et tu verras, ce sera plus simple.

Pour l'instant, continue à nous suivre dans ces explications théoriques et tu arriveras plus loin dans une partie du module qui simplifiera le tout, soit un jeu imaginaire.

Un élément de matière renferme des charges électriques positives et négatives comparables à des "gouttes d'électricité". Cependant, cet élément de matière dont nous parlons: L'ATOME, a autant de charges électriques positives que négatives. Il est donc neutre. En résumé, nous avons:



Le GAZ .....est composé.....D'ATOMES

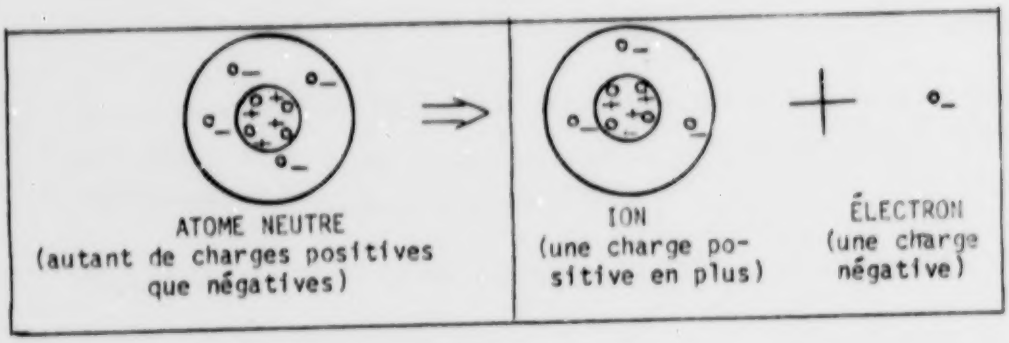
(par exemple l'air)

Les ATOMES.....sont composés.....DE CHARGES ÉLECTRIQUES

Comme nous venons de dire que les atomes sont électriquement neutres (même nombre de charges positives que de charges négatives); les huit petits "points" que nous avons dessinés (qui sont un exemple) seront 4 charges positives et 4 charges négatives.

Maintenant, quand nous disons qu'un atome s'ionise ou se décompose, c'est tout simplement qu'il perd un des 4 petits "points" à charge négative. On appelle ce petit "point" un ÉLECTRON. Ce qui reste, c'est-à-dire un atome ayant perdu un électron et étant donc débalancé électriquement (4 positives et 3 négatives), est appelé un ION.

Encore une fois, si nous résumons par un petit schéma, nous avons ce qui suit:



Ce schéma résume donc la décomposition des particules d'un gaz dans l'arc électrique. C'est cette décomposition qui provoquera toute l'activité ainsi que la grande quantité de chaleur présente dans l'arc. En effet, les ions, les électrons et les atomes non-décomposés voyageront tous dans l'arc mais dans des directions différentes et c'est cela qui causera la plus grande quantité de chaleur à une électrode plutôt qu'à une autre.

Mais avant d'arriver à ce phénomène, rappelons-nous ce que nous avons vu jusqu'à maintenant.

Un ARC ÉLECTRIQUE est un _____ créé entre _____ parcourues par un _____ et dégageant une _____.

Pour toi qui es soudeur, les mots ÉLECTRODE POSITIVE et ÉLECTRODE NEGATIVE deviennent les mots suivants: en polarité normale, l'électrode positive est la _____ et l'électrode négative est _____ tandis qu'en polarité inversée, l'électrode positive est _____ et l'électrode négative est la _____.

Il y a deux éléments dans l'arc électrique qui provoquent une grande activité; soit _____ provoquée par le courant électrique et le _____.

Comment appelle-t-on la décomposition des atomes d'un gaz? C'est l' _____.

Un ion est un atome qui a perdu un _____.

Si on examine les charges électriques des éléments décomposés, on remarque qu'un atome a autant de _____ que _____; qu'un ion a une _____ en plus; et qu'un électron a une _____.

Nous espérons que tu as bien répondu à toutes ces questions car c'est un bon résumé de toutes les pages précédentes. Cela t'aidera!

Une question de poids

Tous les éléments décomposés du gaz que nous t'avons parlé précédemment, c'est-à-dire les atomes, les ions et les électrons; ont également une autre différence entre eux. C'est celle concernant leur poids et elle est importante.

En effet, si tu te souviens de notre schéma, l'électron est beaucoup plus petit que l'atome ou l'ion. Eh bien, dis-toi que leur différence en poids est encore beaucoup plus grande. C'est comme si l'on comparait le poids d'une personne au poids d'une plume. Les atomes et ions sont très lourds et les électrons sont très légers. Ainsi, on retrouvera dans l'arc les éléments suivants:

DES ATOMES	ils ont une charge électrique NEUTRE ils sont très LOURDS.
DES IONS	ils ont une charge électrique POSITIVE ils sont très LOURDS.
DES ELECTRONS	ils ont une charge électrique NEGATIVE ils sont très LÉGERS.

Le mouvement des charges

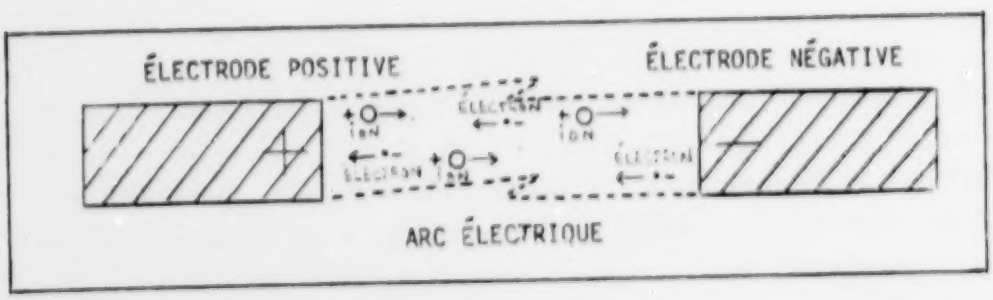
Tu t'es sûrement demandé pourquoi nous insistons sur la notion de charge électrique. Eh bien, des charges électriques ont un effet les unes sur les autres: elles s'attirent ou se repoussent et, bien entendu, cela fait qu'elles se déplacent.

De quelle façon se déplacent-elles? Retiens que les charges de même signe se repoussent et les charges de signe différent s'attirent.

Les trois éléments auxquels nous avons rattaché une charge électrique sont situés, rappelons-nous, entre deux électrodes qui, elles, ont des polarités positive et négative. Que se passera-t-il donc?

LES IONS	ils ont une charge électrique POSITIVE; ils seront donc repoussés par l'électrode POSITIVE et attirés par l'électrode NÉGATIVE.
LES ÉLECTRONS	ils ont une charge électrique NÉGATIVE; ils seront donc repoussés par l'électrode NÉGATIVE et attirés par l'électrode POSITIVE.

Si, maintenant, nous traçons cela sur notre schéma de l'arc électrique, nous commencerons à avoir une bonne vision de toute cette activité, de tous ces déplacements entre les deux électrodes.



En résumé, les différents éléments décomposés ont des caractéristiques différentes concernant leur charge électrique et leur poids:

Les atomes ont une charge électrique _____.
Les ions ont une charge électrique _____.
Les électrons ont une charge électrique _____.

Les atomes ont un poids très _____.
Les ions ont un poids très _____.
Les électrons ont un poids très _____.

Le déplacement des charges électriques se fait de la façon suivante:

Les charges de même signe se _____ et les charges de signe différent s' _____. Ainsi,

Les ions se dirigeront vers l'électrode _____.
Les électrons se dirigeront vers l'électrode _____.

Oui, il s'en passe des choses dans cet arc électrique! Toutes ces particules de gaz et toutes ces charges électriques sont bel et bien présentes dans le petit espace entre ton électrode de métal d'apport et ta pièce à souder. Même si tu ne vois pas ces petits éléments, justement parce qu'ils sont trop minuscules, ils sont réellement là! Pour t'aider à mieux comprendre, nous allons te présenter maintenant un jeu que nous avons imaginé dans le but de faire un rapprochement avec ce qui se passe réellement dans l'arc électrique.

Un jeu imaginaire

Ce jeu très spécial s'intitule: "LA COURSE AUX PLUMES D'OISEAUX". Pour bien le comprendre, il faut toujours que tu t'imagines être un minuscule bonhomme comme nous te l'avons demandé au début du module. Tu seras ainsi à la bonne grandeur par rapport à notre jeu car nous comparons les dimensions du terrain de ce jeu aux dimensions de l'arc électrique.

De plus, nous comparons les joueurs qui pratiquent le jeu sur le terrain aux particules lourdes qui voyagent dans l'arc, soit les atomes et les ions. Enfin, nous intégrons des plumes d'oiseaux que nous comparons aux particules légères qui voyagent dans l'arc, soit les électrons.

Mais avant de poursuivre les diverses comparaisons, nous allons t'expliquer le but et les règles de notre fameux jeu.

Nous avons un terrain qui est beaucoup plus long que large et à chacune des extrémités de ce terrain, nous avons deux tables. Sur la table de droite, nous déposons un tas de plumes d'oiseaux. La table de gauche est vide.

Nous te traçons ici un schéma du jeu pour que tu comprennes les différentes règles.

Le BUT du jeu est le même pour chaque joueur, c'est-à-dire d'aller chercher une plume sur la table de droite et de revenir la porter sur la table de gauche, puis recommencer le même cheminement et ainsi de suite...

Cependant, au signal de DÉPART, une surprise attend nos joueurs puisqu'on met en marche un ventilateur puissant à l'extrême droite du jeu créant ainsi un fort vent de droite à gauche.

Selon toi, qu'est-ce que tout cela causera? Que feront les joueurs? Qu'arrivera-t-il aux plumes? Essaie de deviner.

Si tu es convaincu que les joueurs auront de la difficulté à avancer; eh bien, tu as raison de penser ainsi. En effet, le terrain est beaucoup plus long que large et le vent est très fort dans le sens contraire du mouvement des joueurs.

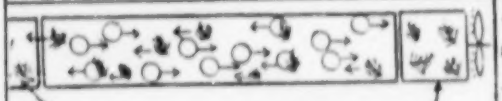
Comme ces derniers ont de la difficulté à avancer en ligne droite, ils se bousculent les uns contre les autres et ainsi TRÈS PEU DE JOUEURS SE RENDENT À DROITE.

Une autre chose que tu as dû remarquer est que le ventilateur est situé derrière la table remplie de plumes. Tu t'es sûrement dit: "toutes les plumes vont être entraînées par le vent". Eh bien, si tu as pensé ainsi, tu as encore une fois raison. En effet, les plumes s'envoleront d'elles-mêmes et se dirigeront dans le sens du courant vers la table de gauche. Comme elles sont petites et très légères, ces plumes se faufileront à travers les joueurs et se rendront sans difficulté à la table de gauche. Donc, BEAUCOUP DE PLUMES SE RENDENT À GAUCHE.

Enfin, tu as dû deviner facilement que, comme très peu de joueurs se rendent à droite, il y a donc très peu de joueurs qui réussiront à rapporter dans leurs mains une plume sur la table de gauche. Ainsi, TRÈS PEU DE JOUEURS AVEC UNE PLUME SE RENDENT À GAUCHE.

Voilà donc toutes les conséquences du jeu avec le résultat final qu'il entraîne. Il serait temps maintenant de faire ce fameux rapprochement avec l'arc électrique comme nous t'en avons parlé précédemment.

Nous allons donc dessiner à nouveau le schéma de notre jeu imaginaire ainsi que le schéma de l'arc électrique que nous t'avons déjà également présenté. Compare bien ces deux schémas et lis attentivement les comparaisons citées.

JEU	ARC
	
○ LE JOUEUR SANS PLUME il doit aller vers la droite pour prendre une plume, cependant;	○ L'ION il doit aller vers la droite étant attiré par l'électrode négative mais;
TRÈS PEU DE JOUEURS SANS PLUMES SE RENDENT À DROITE	TRÈS PEU D'IONS SE RENDENT A DROITE
LA PLUME elle se dirige vers la gauche emportée par le vent (ventilateur);	L'ÉLECTRON il se dirige vers la gauche étant attiré par l'électrode positive;
BEAUCOUP DE PLUMES SE RENDENT À GAUCHE	BEAUCOUP D'ÉLECTRONS SE RENDENT À GAUCHE

Comprends-tu bien toutes les affirmations que nous faisons dans le tableau de la page précédente. Si non, nous te présentons ici un petit rappel; lis-le attentivement...

- *Pourquoi le joueur sans plume se dirige-t-il vers la droite?*

C'est le règlement; il doit aller chercher une plume sur la table de droite.

- *Pareillement dans l'arc, pourquoi l'ion se dirige-t-il vers la droite?*

Un ion a une charge positive en plus; rappelles-toi qu'il est toujours attiré par une électrode de signe différent, soit l'électrode négative. Il se dirige donc vers la droite sur notre schéma.

- *Pourquoi très peu de joueurs sans plume se rendent-ils à droite?*

Il ne faut pas oublier qu'ils ont très peu de place pour passer (le terrain étant beaucoup plus long que large) et qu'ils ont un vent puissant en direction inverse de leur marche. De plus, comme ils sont gros et lourds, ils ont de la difficulté à avancer et se bousculent entre eux.

- *Pareillement dans l'arc, pourquoi très peu d'ions se rendent-ils à droite?*

Encore ici, une très grande activité dans l'arc empêche les ions d'avancer. La grosseur des ions et atomes ainsi que leur poids ne les aide pas à affronter le courant d'électrons en sens inverse. Ils s'entrechoquent donc tous ensemble.

Voilà donc le rapprochement entre le joueur sans plume et l'ion. Le petit rappel précédent peut maintenant se répéter pour le rapprochement entre la PLUME et l'ELECTRON. Nous allons te laisser répondre aux questions cette fois-ci.

- *Pourquoi la plume se dirige-t-elle vers la gauche?*
  Parce qu'elle est entraînée par le courant du _____.

Pareillement dans l'arc, pourquoi l'électron se dirige-t-il vers la gauche?
Parce que l'électron ayant une charge électrique de signe _____; *il est donc attiré par l'électrode* _____.

Pourquoi beaucoup de plumes se rendent-elles à gauche?
Parce qu'elles sont plus _____ *en grandeur et plus* _____ *en poids que les* _____; *elles se faufilent donc facilement à travers ceux-ci.*

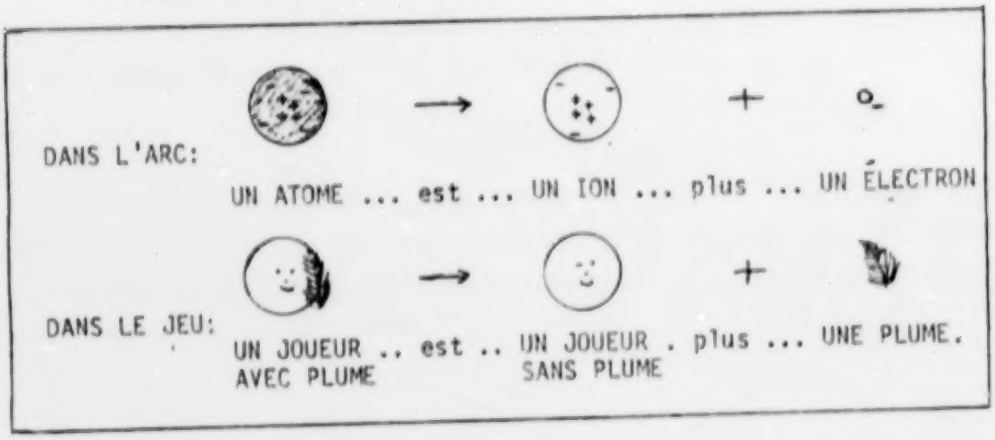
Pareillement dans l'arc, pourquoi beaucoup d'électrons se rendent-ils à gauche?
Parce qu'ils sont beaucoup plus _____ *en grandeur et plus* _____ *en poids que les* _____: *ils se faufilent donc plus facilement à travers ceux-ci.*

Voilà, nous sommes certains que tu as bien répondu au petit questionnaire. Nous espérons que tu comprends bien toutes les comparaisons que nous avons introduites jusqu'à maintenant.

Tu t'es peut-être posé la question: "pourquoi ne parle-t-on pas des joueurs qui ont réussi à apporter une plume sur la table de gauche?"

Il est évident que très peu de joueurs réussiront cet exploit car il est déjà assez difficile de se rendre à droite pour récupérer une plume. Pareillement, dans l'arc, nous pourrions comparer ce fameux "joueur avec plume qui réussit à se rendre à gauche" à un ion qui a réussi à récupérer un électron pour devenir un atome et qui se dirige à gauche pour équilibrer les quantités de particules.

Souviens-toi de ce qui suit:



Tu vois que la comparaison est simple. Également, la conclusion importante à retenir de toutes ces explications est la suivante:

> CE QU'IL EST IMPORTANT DE RETENIR, C'EST LA QUANTITÉ D'ÉLÉMENTS QUI ARRIVENT À GAUCHE OU À DROITE DU JEU OU DE L'ARC.

Qu'est-ce que nous voulons dire?

Nous voulons dire que l'essentiel à retenir est le nombre d'ions ou d'électrons arrivant aux électrodes. C'est ce phénomène qui explique la fameuse énigme: "POURQUOI 2/3 DE LA CHALEUR À LA BORNE POSITIVE ET 1/3 DE LA CHALEUR À LA BORNE NÉGATIVE?"

La distribution de chaleur

Nous t'avons répété plusieurs fois qu'il y avait une grande activité entre les deux électrodes. Nous t'avons parlé des nombreuses collisions entre ions et atomes; tout cela étant dû à leur grosseur, à leur poids et au courant en sens inverse de leur marche.

Tout ce brouhaha crée de la chaleur. C'est comme si on imaginait dans notre jeu une augmentation de la quantité de chaleur provoquée par les collisions entre joueurs et les efforts de ceux-ci pour avancer en ligne droite.

Enfin, tu as vu que beaucoup d'électrons se rendaient à gauche. Mais dans leur route, ils captent un peu de cette chaleur présente au centre de l'arc. Ainsi, chacun des électrons apporte avec lui une petite quantité de chaleur à l'extrémité gauche c'est-à-dire à l'ÉLECTRODE POSITIVE.

Également, tu as vu que très peu d'ions se rendaient à droite. Ceux-ci également captent de la chaleur en cours de route, mais comme ils se rendent peu nombreux, ils apporteront moins de chaleur à l'ÉLECTRODE NÉGATIVE. En résumé:

TOUTES LES PARTICULES PRÉSENTES DANS L'ARC ÉLECTRIQUE CAPTENT DE LA CHALEUR AU COURS DE LEUR ROUTE VERS LES ÉLECTRODES POSITIVE ET NÉGATIVE.

COMME IL Y A PEU D'IONS QUI APPORTENT DE LA CHALEUR À DROITE, IL Y AURA ENVIRON LE TIERS DE LA CHALEUR À L'ÉLECTRODE NÉGATIVE.

COMME IL Y A BEAUCOUP D'ÉLECTRONS QUI APPORTENT DE LA CHALEUR À GAUCHE, IL Y AURA ENVIRON LE DEUX TIERS DE LA CHALEUR À L'ÉLECTRODE POSITIVE.

Pour vérifier toi-même si tu as bien compris, réponds aux questions suivantes:

- *Quelles sont les trois particules présentes dans l'arc électrique?*

_____

- *Pourquoi y a-t-il tant de chaleur au centre des deux électrodes?*

_____

_____

- *Pourquoi y aura-t-il plus de chaleur à l'électrode positive?*

_____

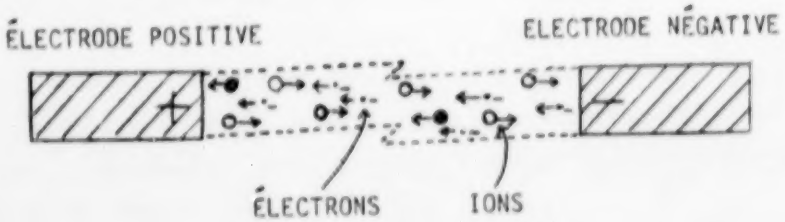
_____

_____

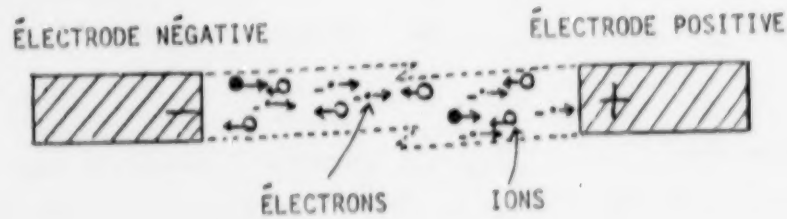
Pourquoi n'y a-t-il pas cette inégalité de chaleur en courant alternatif? Est-ce que cette question t'es déjà venu à l'esprit? Pourquoi la quantité de chaleur est-elle partagée moitié-moitié?

Premièrement, on sait déjà qu'un courant alternatif normal change de polarité 120 fois par seconde, c'est-à-dire que l'électrode positive devient négative puis revient positive; tout cela 60 fois par seconde.

Comme les polarités sont alternées très rapidement, les particules voyageant dans l'arc électrique subissent une alternance à leur tour. Voyons cela!



Lorsque la polarité positive est à gauche, tu vois que les électrons voyagent du négatif au positif donc apportent deux tiers de la chaleur à cette électrode. Mais, très rapidement, cette polarité est inversée...



Tu remarques que si la polarité positive est maintenant à droite, les électrons voyageront cette fois-ci de gauche à droite. Ils apporteront donc deux tiers de la chaleur à cette électrode: L'ÉLECTRODE POSITIVE comme toujours, d'ailleurs; souviens-toi en!

Ainsi, <u>la plus grosse quantité de chaleur est toujours dirigée vers l'électrode positive</u>; mais, comme il y a alternance de polarité d'une électrode à l'autre; eh bien, cette quantité de chaleur change continuellement de direction.

Cette alternance est tellement rapide qu'une électrode n'a jamais le temps de chauffer plus que l'autre. Ainsi, la quantité de chaleur s'équilibrera des deux côtés. En d'autres mots:

> EN COURANT ALTERNATIF, LES DEUX ÉLECTRODES CHAUFFERONT ÉGALEMENT, C'EST-À-DIRE QU'ELLES AURONT CHACUNE 50% DE LA CHALEUR.

Tu vois en même temps une autre différence dans les conditions de soudage seulement à cause du type de courant. Ton expérience comme soudeur t'apprendra les avantages d'avoir une distribution de chaleur égale ou inégale.

Avant de terminer, remplis donc les espaces vides dans les énoncés suivants; question de te rafrafchir la mémoire!

- Lorsque nous utilisons le courant _____ nous avons une distribution de chaleur inégale; soit _____ à l'électrode _____ et _____ à l'électrode _____.

- Lorsque nous utilisons le courant _____, nous avons une distribution de chaleur égale; soit ____ à l'électrode _____ et ____ à l'électrode _____.

Autres phénomènes en présence et conclusion

Tu vois que tout ce qui se produit dans l'arc électrique est un phénomène assez complexe. Nous avons essayé de simplifier ta compréhension en imaginant un jeu. Nous espérons que cela t'a aidé.

Il se produit, en fait, bien d'autres réactions chimiques aux limites de l'arc. La très haute température du plasma entraîne la formation de certains composés dont l'oxyde d'azote et l'ozone et, de plus, certaines électrodes réagissent de façon différente avec le plasma.

Ce plasma produit également un effet que tu as remarqué en soudant, c'est-à-dire un DANGER POUR LES YEUX. En effet, il émet de la lumière et des rayons ultra-violets qui sont néfastes pour les yeux et MÊME LA PEAU.

Alors, il faut toujours que tu sois conscient qu'il se produit une foule de choses dans ce petit arc électrique situé entre ton électrode de métal d'apport et ta pièce à souder.

La prudence est donc toujours essentielle. Tu n'as seulement qu'à penser que les procédés de soudage à l'arc plus avancés utilisent des gaz comme l'argon ou l'hélium et que les températures entraînées sont de l'ordre de 8 000 à 10 000 °C plutôt que 5 000 °C.

Nous espérons donc que tu te rendes à l'atelier de soudage en étant conscient de tout ce que nous venons de te dire. De plus, nous espérons que lorsque tu amorceras l'arc, tu imagines tout ce qui se passe à l'intérieur.

Bon soudage! Salut!

Annexe 3-C

Module d'apprentissage
des concepts scientifiques
de base en soudage

Domaine

Propriétés physiques des matériaux

Titre

La conductivité thermique

GUIDE PÉDAGOGIQUE

MODULE - LA CONDUCTIVITÉ THERMIQUE

A. DESCRIPTION DU CONCEPT

La théorie atomique de la matière a rendu possible la compréhension des phénomènes de conductivité thermique et électrique. Le présent module explique la relation directe entre ces deux principes mais insiste sur la compréhension du premier; c'est-à-dire la conductivité thermique.

Imaginons un arrangement d'atomes placés les uns contre les autres pour former un bloc de matière solide. Selon sa nature, chacun de ces atomes peut libérer un électron. S'il le fait, il rend ainsi le milieu rempli d'ions et d'électrons libres.

Les matériaux sont alors classifiés en deux catégories:

1. Ceux constitués d'atomes ayant libéré des électrons; c'est-à-dire les conducteurs électriques. Ce sont les MÉTAUX.

2. Ceux constitués d'atomes qui ne libèrent pas d'électrons; c'est-à-dire les isolants ou non-conducteurs d'électricité comme, par exemple le verre, le bois ou la brique.

Enfin, la capacité d'un solide de conduire l'électricité influence profondément ses propriétés face à la conduction de la chaleur. C'est ici que nous arrivons au point essentiel du module.

Considérons tout d'abord les matériaux de la deuxième catégorie, c'est-à-dire ceux constitués d'atomes ne libérant pas d'électrons. Nous imaginons une rangée d'atomes soumis à un flux de chaleur; ce dernier frappant les premiers atomes de gauche.

flux de chaleur

rangée d'atomes du matériau

Le premier atome capte un quantum de chaleur, le transmet au second et ainsi de suite jusqu'à l'autre bout. Le transfert de ce paquet de chaleur d'un atome à l'autre se fait avec des délais plus ou moins longs selon la nature du matériau et aussi selon "le bon vouloir" d'un atome à un moment donné. Il en résulte une CONDUCTION LENTE de la chaleur même si le matériau ne peut pas conduire l'électricité.

Les matériaux de la première catégorie, c'est-à-dire les conducteurs d'électricité, se comportent d'une manière très différente à cause de la présence d'électrons libres. Ces derniers ont la possibilité de cueillir un paquet de chaleur à gauche et de voler directement vers la droite pour déposer cette chaleur sur un atome situé plus loin. C'est la conduction par les électrons. Le transfert de chaleur est donc ici PLUS RAPIDE.

B. PRÉSENTATION DE L'ANALOGIE

Le jeu exposé dans ce module veut rendre compte des comportements décrits précédemment. Les étudiants avec une balle de baseball dans la poche sont des atomes non-ionisés (ils forment un non-conducteur d'électricité). Chaque étudiant transmet à son voisin un papier ayant soin de lire le message qui y est écrit en un temps qui varie selon les étudiants (les matériaux). Le résultat entrainé est un papier qui se rend effectivement à l'autre bout mais en un temps long (comme pour les non-conducteurs).

Pour respecter la deuxième méthode de transport de chaleur, les étudiants font rouler leur balle dans le dalot vers la boîte de

messages (donc ils s'ionisent). C'est le rapprochement avec le conducteur d'électricité, les balles jouant le rôle des électrons. Ces balles sont lancées vers la droite en emportant un message comme les électrons qui transportent de la chaleur et parcourent d'un seul coup toute une rangée d'atomes.

L'enseignant doit insister sur les deux procédés de conduction de la chaleur décrits ci-dessus. Il doit conclure que tout bon conducteur d'électricité est aussi bon conducteur de chaleur à cause de la présence d'électrons libres dans le milieu. D'autre part, un non-conducteur d'électricité conduit aussi la chaleur mais FAIBLEMENT. Pour s'en convaincre, on n'a qu'à remplir un verre d'eau chaude. L'extérieur du verre devient chaud mais ceci ne se produit pas instantanément. Il y a un certain délai alors qu'un récipient métallique rempli d'eau chaude s'échauffera très rapidement.

C. LIMITES DE L'ANALOGIE

Le jeu proposé dans ce module ne peut pas rendre compte de l'interaction entre les électrons libres et les ions du milieu de même que l'interaction entre ces électrons. Il est donc impossible d'associer un gradient de température aux étudiants. Enfin, le jeu ne décrit les processus que d'une manière qualitative. On insiste sur les concepts sans les quantifier. Les limites de l'analogie entre le phénomène et le jeu imaginé sont donc à surveiller.

MODULE D'APPRENTISSAGE - CONCEPTS SCIENTIFIQUES DE BASE EN SOUDAGE

DOMAINE: PROPRIÉTÉS PHYSIQUES DES MATÉRIAUX

TITRE: LA CONDUCTIVITÉ THERMIQUE

OBJECTIF: Quand tu auras terminé ce module, tu devrais être capable de comprendre ce qu'est la conductivité thermique. Oui, après l'avoir lu, tu seras non seulement capable de définir ce terme mais, également, tu comprendras de quelle façon la chaleur se propage à l'intérieur d'un matériau.

Il est important pour toi de comprendre cette notion car tu as sûrement remarqué dans tes opérations de soudage que certains matériaux chauffent plus rapidement que d'autres. Nous essaierons donc de t'expliquer ce phénomène de façon simple et claire.

DÉMARCHE: Pour faciliter ta compréhension, nous te présenterons, à la suite des explications théoriques, un jeu que nous avons imaginé et qui, tu le verras bien, simplifiera de beaucoup les notions précédentes.

Les textes encadrés servent à attirer ton attention sur les explications les plus importantes et à te présenter des rappels qui te seront utiles. Des petites questions synthèses sont présentes pour t'aider à voir si tu as bien compris l'essentiel de la matière. Enfin, un questionnaire est ajouté à la fin du module; tu pourras le compléter pour mieux te préparer en vue de l'examen.

CONTENU:

Notions principales	Notions secondaires
. La conductivité thermique (définition)	
. Les catégories de matériaux	. structure interne . matière . atomes . électrons . liens
. La conductivité électrique (rapport avec la conductivité thermique)	. métaux . conducteurs électriques . isolants électriques
. Les deux moyens de transfert de chaleur	
	. observations en atelier: la ZAT

La conductivité thermique

Tu as sûrement exécuté, depuis le début de ton cours de soudage, toutes sortes d'opérations reliées à divers procédés. De plus, tu as opéré sur divers matériaux; soit du cuivre, du laiton, de l'acier ou un autre matériau dans la multitude de possibilités qui s'offraient à toi.

En travaillant, tu as remarqué que certains matériaux devenaient chauds très rapidement, beaucoup plus rapidement que d'autres matériaux. Ces matériaux permettaient donc à la chaleur de se propager plus facilement. On dit qu'ils avaient une meilleure conduction de chaleur ou CONDUCTIVITÉ THERMIQUE.

Si nous voulons prendre un exemple concret pour comprendre ce terme, pensons, par exemple, à des louches (cuillères à soupe) placées dans un chaudron rempli de soupe bouillante. Si tu poses une main sur une des louches fabriquée en verre, tu verras qu'elle devient chaude graduellement mais lentement; cependant si, en même temps, tu poses l'autre main sur une louche fabriquée en fer, tu devras l'enlever immédiatement pour ne pas te brûler. Ainsi, la chaleur aura grimpé le long des louches mais beaucoup plus facilement sur celle en fer. Le fer a donc une BONNE CONDUCTIVITÉ THERMIQUE et le verre a UNE MAUVAISE CONDUCTIVITÉ THERMIQUE.

La conductivité thermique se résume ainsi par la définition suivante:

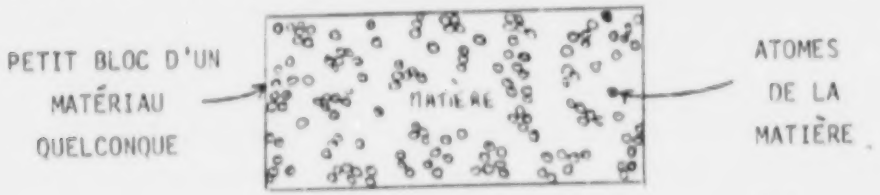
> LA CONDUCTIVITÉ THERMIQUE EST LA PROPRIÉTÉ QU'ONT LES CORPS DE TRANSMETTRE LA CHALEUR.

Mais pourquoi tous les matériaux ont-ils une conductivité thermique différente? Pourquoi y a-t-il de bons conducteurs et de mauvais conducteurs?

Les catégories de matériaux

Les matériaux sont tous différents les uns des autres. Ils ne le sont pas seulement en apparence. Par exemple, le cuivre est jaune et l'argent est gris ou le verre est transparent et le fer est opaque. Ils présentent également des différences dans leur structure interne.

Si nous avions la possibilité de voir un matériau au microscope ou, encore mieux, si nous avions la possibilité de diminuer notre grandeur et de pénétrer à l'intérieur d'un matériau; nous verrions que celui-ci est constitué de petites parties liées ensemble. Toutes ces minuscules parties sont appelées ATOMES.



Ces atomes, déjà très petits, possèdent des éléments encore plus minuscules qu'on appelle électrons. En résumé, nous avons:

LA MATIÈRE EST COMPOSÉE D'ATOMES.
LES ATOMES SONT COMPOSÉS D'ÉLECTRONS.

Cependant, tout dépendant des matériaux, les électrons sont attachés aux atomes de ce matériau avec plus ou moins de force. Un certain matériau sera constitué d'atomes libérant plus facilement quelques électrons comparé à un autre matériau qui, lui, sera constitué d'atomes n'en libérant pas du tout.

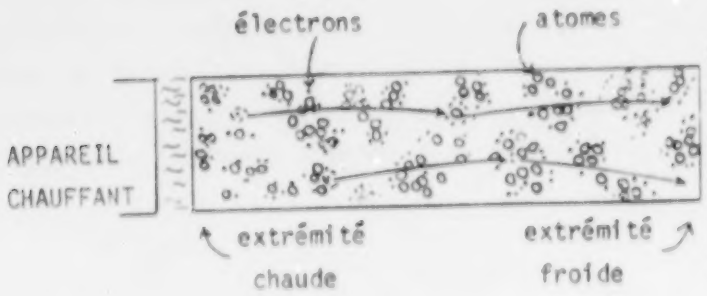
Une constatation entre alors en jeu. C'est que tous les matériaux constitués d'atomes ayant tendance à perdre des électrons conduisent l'électricité et conduisent très bien la chaleur et que tous les matériaux constitués d'atomes ne perdant pas d'électrons ne conduisent pas l'électricité et conduisent très mal la chaleur.

Il y a donc un lien entre la CONDUCTIVITÉ THERMIQUE et la CONDUCTIVITÉ ÉLECTRIQUE.

En fait, tous les matériaux conduisent la chaleur. Il est certain que si tu chauffes l'extrémité d'un matériau, la chaleur se propagera jusqu'à l'autre extrémité. Ce que tu ne sais pas, c'est si cette chaleur se propagera LENTEMENT ou RAPIDEMENT.

C'est à ce moment que nous faisons entrer en jeu la conductivité électrique. Les matériaux qui ont des "attaches" moins fortes entre les atomes et les électrons auront tendance à perdre quelques-uns de ces électrons assez facilement. Tous ces matériaux sont conducteurs d'électricité c'est-à-dire qu'ils permettent la circulation d'électricité (car ce sont les électrons libres qui servent à "transporter" l'électricité).

En même temps, ces électrons vont en profiter! Non seulement, ils vont permettre la circulation du courant électrique, mais ils vont capter des petites quantités de chaleur à l'extrémité chaude du matériau et vont se diriger très rapidement vers l'autre extrémité. Ainsi, la chaleur se propagera beaucoup plus rapidement dans un tel matériau.



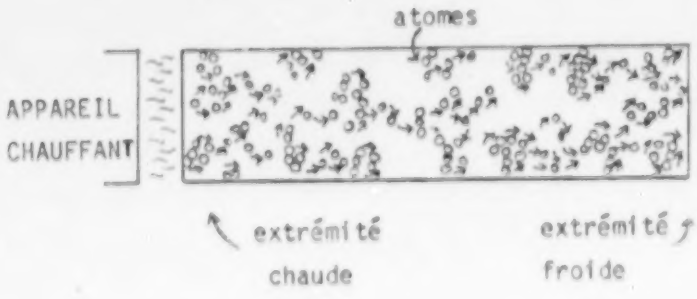
Tous ces matériaux constitués d'atomes perdant facilement des électrons sont donc CONDUCTEURS D'ÉLECTRICITÉ et TRÈS BONS CONDUCTEURS THERMIQUES. On appelle ces matériaux les MÉTAUX.

On peut citer comme exemple les métaux suivants: l'acier, le cuivre, l'aluminium. Ce sont des matériaux de cette classe que tu utilises lorsque tu soudes à l'atelier. En effet, ils sont conducteurs d'électricité puisque tu connectes une des deux bornes de la source directement à la pièce à souder. Également, ils sont très bons conducteurs de chaleur puisque la pièce devient chaude très rapidement lorsque tu la soumets à un échauffement à l'une de ses extrémités.

Que dire maintenant des autres types de matériaux c'est-à-dire ceux qui ne sont pas conducteurs d'électricité. On les appelle les ISOLANTS. On peut citer comme exemple le verre, le plastique, le ciment, le bois, etc... Ce sont des matériaux que tu n'auras jamais à souder à l'arc électrique puisque, au départ, ils ne conduisent pas l'électricité.

Tous ces matériaux auront une structure interne construite de telle façon qu'il n'y aura pas présence d'électrons libres. Ils seront composés d'atomes, comme toute matière, mais les liens unissant les électrons aux atomes seront beaucoup plus forts. Comme nous l'avons déjà dit, ils seront non seulement ISOLANTS ÉLECTRIQUES mais MAUVAIS CONDUCTEURS THERMIQUES.

La chaleur se propagera de toute façon, c'est évident, mais beaucoup plus lentement. Il n'y aura plus d'électrons libres pour capter de la chaleur et parcourir de grandes distances rapidement, mais cependant, cette chaleur se transmettra d'un atome à l'autre, graduellement, jusqu'à l'autre bout du matériau.



La chaleur passe d'un atome au voisin graduellement, jusqu'à l'autre bout.

Tu vois que les atomes se transmettent encore des quantités de chaleur mais, cette fois-ci, d'un voisin à l'autre sans aucune aide d'électrons pouvant parcourir des grandes distances en un bond.

En résumé;

> La chaleur peut se propager de deux façons à l'intérieur d'un matériau. Ces deux possibilités dépendent de la structure interne de ce matériau.

Pour voir si tu as bien compris les explications précédentes, remplis les espaces vides suivants:

- Quelle est la définition de la conductivité thermique?

  _____

  _____

- Les matériaux ne sont pas seulement différents en apparence. Ils présentent également des différences dans leur _____.

- La matière constituant un matériau quelconque est formée de minuscules parties invisibles à l'oeil nu et fixées ensemble. On appelle ces parties de matière des _____. On retrouve également autour de ces atomes des parties encore plus minuscules qu'on appelle _____.

- *Il existe deux catégories de matériaux:*
  - *ceux qui sont constitués d'atomes perdant facilement des électrons, ce sont des conducteurs électriques et de très bons conducteurs* _____. *On les appelle les MÉTAUX.*

  - *ceux qui sont constitués d'atomes ne perdant pas d'électrons: ce sont des isolants électriques et de très mauvais conducteurs* _____.

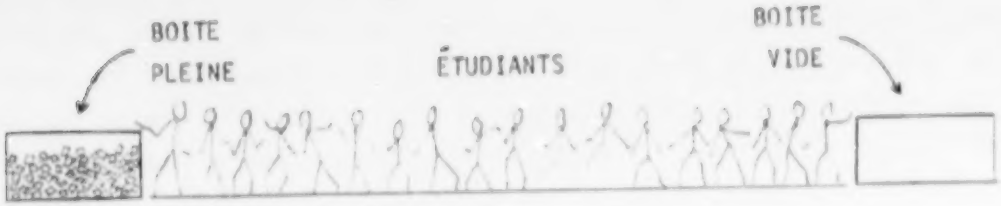
- *Laquelle des deux catégories de matériaux utilises-tu lorsque tu soudes en atelier?* _____

- *Pourquoi ne peux-tu utiliser que cette catégorie seulement?*

_____

Nous espérons que tu as bien répondu aux questions précédentes. Cependant, si tu as rencontré quelques difficultés en route, nous te présentons maintenant un jeu que nous avons imaginé et qui simplifiera de beaucoup la matière vue précédemment.

Imagines-toi faisant partie d'un groupe d'étudiants qui ont comme but de faire passer des messages écrits sur des papiers. Ils se disposeront les uns à côté des autres pour faire une "chaîne" entre la boîte remplie de messages et la boîte vide. Nous aurons le schéma suivant:



Le but étant de transmettre les messages de la boîte pleine à la boîte vide, on accordera aux étudiants le droit d'utiliser deux méthodes pour assurer le transfert de ces papiers.

- Voici les deux méthodes permises:

Première méthode: "La méthode de la chaîne"

Le premier étudiant situé à gauche prend un message dans la boîte pleine et le passe à son voisin de droite qui, lui, fait la même chose et ainsi de suite jusqu'à l'étudiant placé près de la boîte vide. Le processus se répète jusqu'à l'épuisement des messages dans la boîte de gauche.

- Quel est le résultat obtenu si les élèves utilisent cette méthode?

Eh bien, les messages sont effectivement transportés mais TRÈS LENTEMENT. Et, comme la plupart des étudiants sont curieux de lire ces messages, le transfert est encore plus long.

Mais ces étudiants ont une deuxième possibilité:

Deuxième méthode: "La méthode du lancer"

Chaque étudiant a à sa disponibilité une balle de baseball qu'il retire de sa poche. Les élèves situés les plus à gauche près de la boîte pleine de messages font rouler leur balle vers celle-ci. L'étudiant le plus près de la boîte prend un message, le colle sur une des balles et lance cette balle en tentant de se rendre le plus loin possible vers la boîte vide. S'il réussit, tant mieux. S'il ne réussit pas, un autre étudiant placé sur la ligne capte cette balle et la relance jusqu'à la boîte visée par le premier étudiant. Le processus se répète ainsi jusqu'à l'épuisement des messages dans la boîte de gauche.

- Quel est le résultat obtenu cette fois-ci?

Les messages sont encore une fois transportés à la destination voulue mais, cette-fois-ci, le transfert se fait TRÈS RAPIDEMENT. En effet, les messages collés aux balles parcourent une grande distance à la fois et ne passent pas dans la main de chaque étudiant.

Commences-tu à entrevoir un certain rapprochement entre ce jeu que nous te présentons et la matière théorique que nous avons détaillé au début de ce module?

Te rappelles-tu le moment où nous avons parlé de deux méthodes possibles de transfert de chaleur dans un matériau? Ne vois-tu pas une ressemblance avec les deux méthodes de transfert des messages de notre jeu?

Voyons donc cette comparaison en détail. Nous espérons que cela t'aidera à mieux comprendre.

Tout d'abord, dans un matériau, nous parlons de transporter des paquets de chaleur. Pareillement dans notre classe d'élèves, nous parlons de transporter des papiers avec des messages. Ensuite, nous précisons que notre chaleur peut passer d'un atome à l'autre dans un matériau. Eh bien, pareillement dans notre classe, les messages peuvent passer d'un élève à l'autre. Enfin, nous abordons la possibilité pour un atome d'un matériau de relâcher un électron qui assurera un transfert plus rapide de la chaleur en parcourant une grande distance en un seul bond. Pareillement dans notre classe, un élève peut relâcher une balle qui assurera le transfert du message beaucoup plus rapidement.

PAPIERS AVEC MESSAGES	PAQUETS DE CHALEUR
ÉTUDIANTS	ATOMES
BALLES	ÉLECTRONS

Si les étudiants utilisent la première méthode (méthode de la chafne); c'est-à-dire qu'ils passent les messages tout le long de la chafne d'un étudiant à l'autre, les messages se rendent effectivement mais ce processus est quand même assez long. Il est à remarquer que les élèves ne se servent pas de leur balle de baseball.

Si nous voulons comparer cette situation à celle dans un matériau, nous avons la catégorie dans laquelle les électrons restent attachés aux atomes; c'est-à-dire que ce sont des matériaux qui n'ont pas d'atomes ayant tendance à perdre des électrons.

Ce sont les NON-CONDUCTEURS ÉLECTRIQUES
OU ISOLANTS ÉLECTRIQUES.

N'ayant pas d'électrons libres qui accélèrent le transfert de chaleur, cette dernière est transmise quand même mais de façon lente par l'entremise des atomes. En effet, les paquets de chaleur passent d'un atome à l'autre jusqu'à la destination voulue.

En résumé, nous avons la situation suivante:

RANGÉE D'ATOMES DANS UN MATÉRIAU		LA CHALEUR EST PASSÉE D'UN ATOME À L'AUTRE
RANGÉE D'ÉLÈVES DANS UNE CLASSE		LE PAPIER EST PASSÉ D'UN ÉLÈVE À L'AUTRE

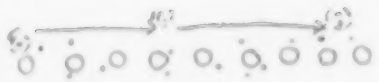
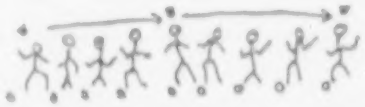
DANS LES DEUX CAS, LE PROCESSUS DE TRANSFERT EST LENT

Si nous voulons maintenant considérer la deuxième méthode utilisée par les élèves pour assurer le transfert des messages (méthode du lancer); nous avons la comparaison suivante.

Les étudiants se servent maintenant de leur balle qu'ils retirent de leur poche. Un message est collé sur une des balles par un des élèves de l'extrémité gauche du jeu. Cet élève lance la balle le plus loin qu'il peut. Si elle se rend à la boîte vide, le message se sera donc rendu d'un seul élan. Si elle se rend à un élève de la rangée située entre les deux boîtes, cet élève la capte et la relance vers la boîte vide. La balle avec le message voyage donc "par coups" et de façon très rapide.

Si nous comparons à nouveau cette situation avec celle dans un matériau, nous avons la catégorie dans laquelle les électrons peuvent facilement se détacher des atomes; c'est-à-dire que ce sont des matériaux qui ont des atomes ayant tendance à perdre des électrons. Ce sont les CONDUCTEURS ÉLECTRIQUES. Ayant des électrons libres, la chaleur est captée par ceux-ci et voyage de façon beaucoup plus rapide car ces électrons peuvent parcourir, d'un seul bond, plusieurs atomes. Un paquet de chaleur peut donc se rendre à l'autre bout d'un matériau en un seul élan.

En résumé, nous avons la situation suivante:

RANGÉE D'ATOMES DANS UN MATÉRIAU AVEC LES ÉLECTRONS LIBRES		LA CHALEUR EST CAPTÉE PAR LES ÉLECTRONS QUI PARCOURENT UNE GRANDE DISTANCE EN UN SEUL BOND
RANGÉE D'ÉLÈVES DANS UNE CLASSE AVEC LES BALLES DISPONIBLES		LE MESSAGE EST COLLÉ SUR LES BALLES QUI PARCOURENT UNE GRANDE DISTANCE D'UN SEUL COUP

DANS LES DEUX CAS, LE PROCESSUS DE TRANSFERT EST RAPIDE.

Tu vois bien que, finalement, toutes ces comparaisons se résument dans les quelques énoncés suivants.

UN MATÉRIAU QUI EST CONDUCTEUR ÉLECTRIQUE EST UN EXCELLENT CONDUCTEUR THERMIQUE.

UN MATÉRIAU QUI N'EST PAS CONDUCTEUR ÉLECTRIQUE EST UN MAUVAIS CONDUCTEUR THERMIQUE.

Pour vérifier si tu as bien compris pourquoi ces deux énoncés sont vrais, réponds donc aux questions suivantes:

- Dans le jeu, pourquoi la deuxième méthode de transfert est-elle plus rapide? _____

_____

_____

- Pareillement dans un matériau quelconque, pourquoi la conduction de chaleur se fait-elle plus rapidement dans tel matériau par rapport à tel autre? _____

_____

_____

- Les matériaux qui sont constitués d'atomes perdant facilement des électrons sont appelés CONDUCTEURS _____; par le fait même, ils seront EXCELLENTS CONDUCTEURS _____.

- Les matériaux qui sont constitués d'atomes ne perdant pas d'électrons sont appelés ISOLANTS _____; par le fait même, ils seront très MAUVAIS CONDUCTEURS _____

Conclusion

Voilà, c'est tout pour la conductivité thermique. Nous espérons que ce module t'a permis de comprendre un peu mieux comment la chaleur voyageait à l'intérieur d'un matériau.

Souviens-toi en résumé que tous les matériaux ont des structures internes différentes. C'est pourquoi ils réagissent de façon différente soit à l'électricité ou à la chaleur.

La prochaine fois que tu iras souder en atelier, essaie de remarquer le cercle rouge-orangé autour de ton point de soudure. On

appelle cette zone la ZAT ou zone affectée thermiquement. Observe bien comment cette zone augmente ou diminue à mesure que tu déplaces ton électrode. Si ce déplacement se fait rapidement, cela voudra dire que tu travailles sur un matériau ayant une excellente conductivité thermique. Observe ensuite la différence sur d'autres matériaux.

Bon soudage et à la prochaine!

RÉFÉRENCES

1. Programme d'études. Secondaire. Sciences physiques. Direction générale du développement pédagogique, M.E.Q. septembre 1982, p. 7 (Document no 16-3174-01).

2. La formation professionnelle dans le système scolaire. Orientations et voies d'action retenues, M.E.Q. Février 1985.

3. Programme d'études. Secondaire. Hydrothermie, Tronc commun, Fabrication métallique 300-100, M.E.Q. (Document 16-4136- 02).

4. Programme d'études. Secondaire. Hydrothermie. Soudeur général 308 -500, M.E.Q. (Document no 16-4136-12).

5. Répertoire des éléments de connaissance par unités modulaires. Métallurgie. M.E.Q. 1982.

6. Bloom, B.S. Taxonomie des objectifs, Tome 1: Domaine cognitif. Éducation Nouvelle, Montréal, 1969.

7. Voir 5, p. iii et iv.

8. Voir 5, p. 270-271.

9. Voir 5, p. 87.

10. Voir 4, p. 8.

11. Voir 4, p. 53,54,55.

12. Voir 3, p. 55 à 59.

13. Direction générale de l'éducation des adultes, M.E.Q. Exemple: Programme d'oxycoupage, juillet 1981: Note technologique 13, doc. no 38-7407. Guide d'apprentissage 7, doc. no 38-7406. Matériel d'évaluation, doc. no 265-016-03. Fiche d'évaluation et de compilation.

14. Matériel didactique agréé par le ministère de l'Éducation pour les écoles secondaires de langue française 1979-1980, M.E.Q. p. 112-113.

15. Matériel didactique autorisé, M.E.Q. Mars 1982 (Document 16-4052-06) p. 83.

16. Pender, J.A. Le soudage, McGraw-Hill 1972.

17. Lanouette, Yves et Gratton, Yvon. Le soudage oxyacétylénique. M.E.Q. 1958.

18. Gratton, Yvon et Lanouette, Yves. Le soudage à l'arc électrique. M.E.Q. 1966.

19. Oppel, Y. Analyse des manuels scolaires, Institut Romand de recherches et de documentations pédagogiques, Neuchâtel, Suisse, Mars 1976.

20. Plan d'étude pour le cours de chimie 270-442 par L. Bastien-Grégoire, M. Bordeleau-Dubois, D. Lanthier-Brulé, C. Tremblay-Caya, Guérin - Trois documents:
    A) Plan d'étude de l'étudiant
    B) Plan d'étude de l'étudiant. Évaluations synthèses.
    C) Guide du maître.